



**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

**USO DE LOS CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES PARA LA MEJORA DE  
LA CAPACIDAD DE PROCESO DE LA COLOCACIÓN DE CONCRETO EN  
ELEMENTOS VERTICALES DE EDIFICACIONES MULTIFAMILIARES  
(CASO EDIFICIO CRICKET PARK – MAGDALENA DEL MAR)**

**PRESENTADO POR:**

**RICARDO VICTOR LEÓN SOVERO**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
MAESTRO EN GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN**

**ASESOR: Ing. Roberto Manuel Muñoz Aznaran**

**LIMA – PERÚ**

**2020**

**“A mi esposa, Soliza que es mi  
fortaleza y el motor de mi  
inspiración”**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios, en primer lugar, que, con sus bendiciones, siempre me brinda salud, y bienestar para mi hogar y toda mi familia

Quiero expresar mi sincero agradecimiento, a mis padres Miriam y Víctor, por el esfuerzo que hicieron en darme el regalo más increíble que puede recibir una persona que es la “educación y conocimiento”, a mi hermana Karito, y sobrinos, Fiorella, Luciana y Renzo, con su alegría y bendiciones, de quienes aprendí que “La disciplina, esfuerzo y dedicación son la clave del éxito”

Agradecido también al Ing. Cristian Sotomayor por la idea para el inicio de esta tesis, y al Ing. Roberto Muñoz, docentes de esta maestría de quienes aprendí las herramientas para el desarrollo de esta investigación, y que me han fortalecido grandemente para el desarrollo de mi carrera profesional.

## RESUMEN

La investigación que les presento tiene como finalidad la definición de cómo favorece el uso de los concretos autocompactantes para mejorar de la capacidad de proceso en la colocación de elementos verticales de edificaciones multifamiliares. Analizando el caso del edificio Cricket Park en el distrito de Magdalena del Mar. La metodología desarrolla un enfoque cuantitativo estudiando dos variables para medir su comportamiento y representarlo a través de datos numéricos, el alcance, descriptivo de tipo no experimental, las variables de estudio no fueron modificadas sino observadas en función de su desenvolvimiento. El estudio se basó en un diseño transversal, se estableció un periodo de tiempo para la realización de este estudio. El tema de la seguridad en obra se ha incrementado al reducirse actividades como el vibrado y la necesidad de vaciar por tramos los elementos verticales, se reduce considerablemente la aglomeración de personas en la actividad de vaciado de concreto, lo que disminuye el riesgo de accidentes de trabajo, los resultados obtenidos, mostraron como el uso de los concretos autocompactantes en su análisis costo beneficio, pone en segundo plano el costo unitario alto del material, por las bondades para mejorar los procesos, mejorando los niveles de aceptación de los entregables, se concluye que al tener estructuras con menor cantidad de observaciones, disminuye la contaminación ambiental, con la reducción en la emisión de material en suspensión al ambiente, el material de desmonte producto del repicado o rectificaciones en la superficie de los elementos ya sea directa o indirectamente, a su vez como se dejan de utilizar equipos como las vibradoras o amoladoras reducimos la contaminación sonora, costos en re trabajos y disconformidades, llegando a concluir el ahorro en costos tomando como línea base los procedimientos de los procesos actuales, en los gastos de obra, así como también en la preservación del ambiente, lo que le da un valor agregado a la imagen corporativa.

Palabras clave:

Concretos Autocompactantes, Capacidad de proceso, vaciado de concreto, DMAIC, Edificios multifamiliares

## **ABSTRACT**

The research that I present to you has the purpose of defining how it favors the use of self-compacting concrete to improve the process capacity in the placement of vertical elements of multi-family buildings. Analyzing the case of the Cricket Park building in the Magdalena del Mar district. The methodology develops a quantitative approach by studying two variables to measure their behavior and represent it through numerical data, the scope, descriptive of a non-experimental type, the study variables not they were modified if not observed in function of their development. The study was based on a cross-sectional design, a period of time was established to carry out this study. the issue of safety on site has increased by reducing activities such as vibrating and the need to empty the vertical elements in sections, the agglomeration of people in the concrete pouring activity is considerably reduced, which reduces the risk of accidents from work, the results obtained, showed how the use of self-compacting concrete in its cost-benefit analysis, puts in the background the high unit cost of the material, due to the benefits to improve the processes, improving the acceptance levels of the deliverables, it is concluded that having structures with fewer observations, reduces environmental pollution, with the reduction in the emission of material in suspension into the environment, the stripping material resulting from the pattering or rectifications on the surface of the elements, either directly or indirectly, to in turn, as equipment such as vibrators or grinders are no longer used, we reduce noise pollution, costs in re works and nonconformities, it was concluded that costs are saved compared to the current one, in construction expenses, as well as in the care of the environment, which improves the image of the company.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

### Contenido

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN .....	4
ABSTRACT .....	5
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	6
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS .....	10
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.1. Situación problemática .....	11
1.2. Preguntas de investigación .....	14
1.2.1. Pregunta general .....	14
1.2.2. Preguntas específicas .....	14
1.3. Objetivos de la investigación.....	15
1.3.1. Objetivo general .....	15
1.3.2. Objetivos específicos .....	15
1.4. Justificación .....	15
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	18
2.1. Antecedentes de la investigación.....	18
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	18
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	21
2.2. Bases teóricas.....	23
2.2.1. Concreto o relleno autocompactante .....	23
2.2.2. Herramientas de optimización de proyectos .....	26
2.2.3. ACI 117-06. Especificaciones de las tolerancias para la construcción y los materiales de concreto y comentario .....	29
2.2.4. ACI 304R-00. Guía para medir, mezclar, transportar y colocar el concreto.....	31
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	35
3.1. Enfoque, alcance y diseño .....	35
3.2. Matrices de alineamiento .....	36
3.2.1. Matriz de consistencia.....	36
3.2.2. Matriz de operacionalización de variables.....	38

3.3.	Población y muestra.....	40
3.4.	Técnicas e instrumentos.....	40
3.5.	Aplicación de instrumentos.....	41
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANALISIS.....		43
4.1.	Resultado y Análisis proceso actual .....	43
4.1.1.	Diseño de mezcla.....	50
4.1.2.	Tiempo.....	53
4.1.3.	Costo.....	64
4.1.4.	Mano de obra.....	65
4.2.	Resultado y análisis para definir el nivel de variabilidad por aspectos externos.....	78
4.3.	Resultado y análisis para definir estándares de aceptación que deben cumplir los elementos verticales empleando concreto autocompactante. ....	79
4.4.	Resultado y análisis para definir la capacidad del proceso para la colocación de concreto autocompactante en elementos verticales. ....	86
CAPÍTULO V: PROPUESTA DE SOLUCIÓN .....		88
5.1.	Propósito .....	88
5.2.	Actividades .....	88
5.2.1.	Identificación.....	88
5.2.2.	Implementación. ....	89
5.2.3.	Análisis.....	90
5.3.	Cronograma de ejecución. ....	90
5.4.	Análisis costo beneficio .....	91
CONCLUSIONES .....		96
RECOMENDACIONES .....		99
BIBLIOGRAFÍA.....		100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Interpretación cualitativa del índice Cpk. ....	29
Tabla 2. Matriz de consistencia.....	36
Tabla 3. Matriz de operacionalización de variables .....	38
Tabla 4 Valoración de causas internas (Fuente Propia) .....	45
Tabla 5 Valoración de causas externas (Fuente Propia) .....	46
Tabla 6 Valoración de causas internas (Fuente Propia) .....	46
Tabla 7 Valoración de causas externas (Fuente Propia) .....	47
Tabla 8 Valoración efectos internos (Fuente Propia).....	48
Tabla 9 Valoración Efectos Externos (Fuente Propia) .....	48
Tabla 10 Valoración efectos internos (Fuente Propia).....	49
Tabla 11 Valoración efectos externos (Fuente Propia) .....	49
Tabla 12. Comparativo de precio vs slump. (Fuente Propia) .....	52
Tabla 13. Comparativo de diferentes diseños de concreto para la misma resistencia requerida. (Fuente Propia).....	53
Tabla 14 Variabilidad del tiempo general situación actual (Fuente Propia). ....	54
Tabla 15 Variabilidad del tiempo de llegada a obra situación actual (Fuente Propia).....	55
Tabla 16 Variabilidad de tiempo permanencia en obra situación actual (Fuente Propia).....	56
Tabla 17 Variabilidad de tiempo de esperas sin vaciar situación actual (Fuente Propia).....	57
Tabla 18 Variabilidad de tiempo efectivo de vaciado situación actual (Fuente Propia).....	58
Tabla 19 Comparativo de tiempos para colocación del concreto situación actual (Fuente Propia) .....	59
Tabla 20 Tiempos reales en secuencia por elemento sector 1 (Fuente Propia) .....	61
Tabla 21 Tiempos reales en secuencia por elemento sector 2 (Fuente Propia) .....	62
Tabla 22 Tiempos reales en secuencia por elemento sector 3 (Fuente Propia) .....	63
Tabla 23 APU Concreto $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ . (Fuente Propia) .....	64
Tabla 24 APU Concreto $F'c = 245 \text{ kg/cm}^2$ . (Fuente Propia) .....	64
Tabla 25 APU Concreto $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . (Fuente Propia) .....	65
Tabla 26 Comparativo de precios del concreto. (Fuente propia) .....	65
Tabla 27, Resumen de horas proyectadas para colocación, (Fuente Propia) .....	66
Tabla 28, Resumen de horas trabajadas para la colocación de concreto, (Fuente Propia). ....	67
Tabla 29, Evaluación de productividad, (Fuente Propia). ....	68
Tabla 30, Evaluación de rendimiento de mano de obra, (Fuente Propia). ....	69
Tabla 31 Cuadrilla actual (Fuente Propia) .....	69
Tabla 32 Cuadrilla propuesta (Fuente Propia) .....	69
Tabla 33. Productividad Concreto tradicional. (Fuente Propia).....	70
Tabla 34, Diagrama de Pareto de trabajo Contributorios concreto tradicional, (Fuente Propia). .....	71
Tabla 35, Diagrama de Pareto de trabajo No Contributorios concreto tradicional, (Fuente Propia). ....	71
Tabla 36. Productividad Concreto Autocompactante. (Fuente Propia).....	72
Tabla 37, Diagrama de Pareto de trabajo Contributorios concreto Autocompactante, (Fuente Propia). ....	73
Tabla 38, Diagrama de Pareto de trabajo No Contributorios concreto Autocompactante, (Fuente Propia).....	73



Tabla 39 APU, de concretos autocompactantes $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , (Fuente Propia).....	74
Tabla 40 APU, de concretos autocompactantes $F'c = 245 \text{ kg/cm}^2$ , (Fuente Propia).....	74
Tabla 41 APU, de concretos autocompactantes $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , (Fuente Propia).....	74
Tabla 42, Comparativo costo mano de obra, Fuente Propia. ....	75
Tabla 43 Porcentaje de plan completado de costo, Fuente Propia .....	75
Tabla 44, Montos Valorizados programados, Fuente Propia.....	76
Tabla 45, Montos de valorización ejecutadas, Fuente Propia. ....	76
Tabla 46 Análisis del porcentaje del plan completado, Fuente Propia .....	77
Tabla 47 Consolidado de Incumplimiento, Fuente Propia .....	77
Tabla 48 Variables externas a considerar. (Fuente Propia) .....	79
Tabla 49. Cálculo de desempeño del proceso con concreto tradicional. (Fuente Propia) .....	86
Tabla 50. Cálculo de desempeño del proceso Concreto autocompactdo. (Fuente Propia) .....	87
Tabla 51. Tabla de valores de Six sigma. (Fuente Six Sigma) .....	87
Tabla 52. Niveles de Six Sigma. (Fuente L.F.Jeri / UNALM).....	88
Tabla 53 Resultado del analisis del costo (fuente propia) .....	91
Tabla 54 Comparación de beneficios .....	92

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Crecimiento de la Construcción. Fuente: IEDEP, INEI 2018 .....	12
Figura 2 Metodología DMAIC. Fuente: Salazar (2020). ....	28
Figura 3 Desviación de la plomada para los edificios y los núcleos. Fuente: ACI 117-06 (2006). ....	30
Figura 4 Desviación horizontal para elementos adyacentes y horizontales. Fuente: ACI 117-06 (2006). ....	30
Figura 5 Bordes de aberturas, mangas e incrustaciones. Fuente: ACI 117-06 (2006). ....	31
Figura 6 Dimensiones de la sección transversal. Fuente: ACI 117-06 (2006). ....	31
Figura 7 Diagrama de Procesos (Fuente Propia) .....	44
Figura 8 Causas que influyen en la capacidad de proceso (Fuente Propia) .....	45
Figura 9 Efectos que influyen en la Capacidad de proceso (Fuente Propia) .....	47
Figura 10 Caja en L (Gomes et al., 2002) .....	80
Figura 11 Caja en U (JSCE, 1998) .....	81
Figura 12 Ensayo de caja U, LADICIM UC, 2019 .....	81
Figura 13 Especificaciones técnicas para concreto auto compactado unicon 2020 .....	85

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Situación problemática**

Al realizar el análisis, del movimiento económico la industria de la construcción ocupa un puesto de los más importantes del rubro productivo, como eje de crecimiento. En países como Japón, Alemania e Italia, se generaron los primeros conocimientos acerca de los procedimientos de construcción que ahora rigen el mundo y que, a la fecha, siguen creando nuevas innovaciones en el sector de la construcción.

De acuerdo a Wilkinson, Chang-Richards, Sapeciay y Costello (2016) la construcción es un capítulo fundamental en el sector económico de los países, dicho de otra manera, los países se cimientan en los pilares que el sector construcción brinda a cada economía, esto dinamiza otros rubros de las economías que están ligados al sector construcción de cada país.

Uno de los indicadores económicos más importantes de los países es el PIB (Producto Interno Bruto), el cual, de acuerdo con la Federación Internacional de la Construcción, en el año 2018 el rubro productivo de la construcción aportó un 6.5% a nivel mundial (Andrade, 2018)

A nivel de Latinoamérica, el sector de la construcción ha sufrido por diversos altos y bajos en sus índices de productividad a través de los años, especialmente durante el periodo del 2008 al 2009, donde, la tasa de producción para Perú en el 2019 fue de 6.7%, en la figura 1 se observa la proyección del crecimiento en el sector construcción.

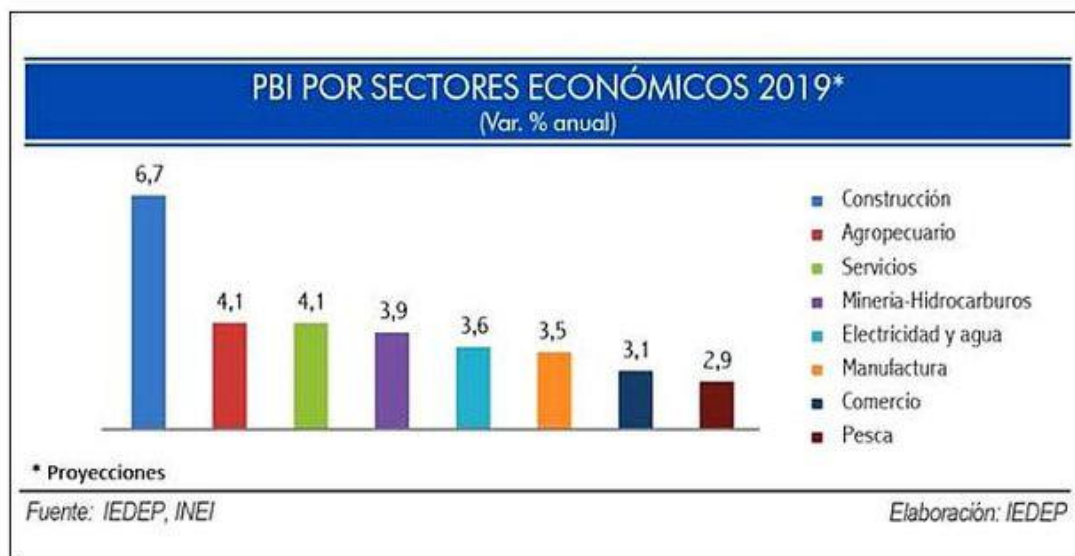


Figura 1 Crecimiento de la Construcción. Fuente: IEDEP, INEI 2018

En la fase de recuperación (2010-2015), la producción de la construcción en Colombia, cuyo valor añadido aumentó en promedio un 8% anual, superó con creces los resultados de México y Brasil, que parecen tener dificultades para relanzar el sector (Cámara Colombiana de la Construcción, 2018)

En países como Chile, las materias primas evidencian precios muy elevados y una sólida cartera de proyectos fomentan la compra de maquinaria y equipo. En Colombia, el crecimiento se apoya en un fuerte sector del petróleo y el gas, que aumenta los salarios, el consumo y la confianza de las empresas (Inmoley, 2019).

La inversión en infraestructura pública y en el sector de las materias primas seguirá aumentando. México ha superado al Perú como tercer mercado más atractivo, pero el Perú sigue siendo el país de más rápido crecimiento de América Latina, con una inversión en la minería y el consumo privado que apoya la actividad económica. (Inmoley, 2019)

Los resultados en el Perú se apoyan en el aumento de la demanda de viviendas, debido al aumento de la capacidad adquisitiva y a la caída de las tasas de hipotecas, que están facilitando el cierre financiero de las viviendas colectivas. Asimismo, las proyecciones dependen del trabajo y movimiento en la inversión privada que, de la mano con las inversiones del estado, los indicadores quedan en función al ambiente político (Cámara Colombiana de la Construcción, 2018).

De igual forma en el Perú, la expectativa es que el sector construcción aumente en un 7.3% en el año 2020, dado los diversos proyectos de inversión que existen actualmente en el país (Cámara de Comercio de Lima, 2019).

A esta problemática se suman varios factores que ya sean interno o externos afectan la capacidad del proceso de colocación del concreto, se ha evidenciado que como en su mayoría el elemento vertical es revestido con un mortero de cemento, para su acabado final se tiende a maquillar las imperfecciones producidas por los proceso de colocación del concreto descartando defectos producidos por actividades previas como la colocación del acero y el encofrado, los defectos en los elementos verticales de obras cuya supervisión, es nula o inexistente, pasando por priorizar, periodos de ejecución, comprometidos a entregas tempranas de los edificios por competitividad o estrategia de marketing, o por expertis de quien realiza la labor final en este caso las actividades de colocación del concreto a través del tiempo se ha mantenido invariable en cuanto a sus procesos, asumiendo costos de retrabajos y no conformidades, en lugar de ver cambios simples que pueden ser significativos

Es por ello que, para el sector de la construcción, es importante realizar nuevas innovaciones e investigar acerca de alternativas que incrementen la producción y la productividad en las empresas dedicadas a este rubro. Una de estas alternativas consideradas es la implementación del uso de nuevos concretos como sustituto al convencional para lograr obtener mejores acabados y propiedades físicas, así como mecánicas conformes a las normativas de cada país.

Ahora bien, el concreto en general es esencialmente una mezcla de aglomerantes, agregados, para formar una pasta. La pasta, que consiste en cemento y agua, se combina con los agregados (arena gruesa, canto rodado o piedra chancada ) la pasta se endurece y por un proceso de reacción química entre las moléculas del cemento y el agua (Benites, 2014). Sin embargo, en la actualidad, existen otros tipos de concretos que se adaptan a cada una de las necesidades de construcción de los especialistas.

El tipo de mezcla de concreto radica en los componentes, agregados finos y gruesos, así como aditivos y tiempos de fraguado que se requieran para obtener las propiedades físicas y mecánicas que se deseen.

Es por ello que, el concreto autocompactante o fluido es una mezcla que puede consolidarse por su propio peso, y actualmente existen normas nacionales e

internacionales que respaldan los ensayos adicionales necesarios en función del concreto producido, que son pertinentes para el control y la vigilancia. Estos estándares crean márgenes de calidad óptimos para el diseño, el transporte, las pruebas y la fundición (Rodríguez, 2019).

Este tipo de mezcla de concreto presenta una fluidez con valores altos sin segregación, esto le da la ventaja para el llenado del encofrado y recubriendo el acero de refuerzo, dejando de lado cualquier tipo de consolidación, es decir, este se puede colocar velozmente sin vibración mecánica y con menos allanado, teniendo como consecuencia el ahorro en costos de colocación, mejor uniformidad en acabado de superficie (sin presencia de burbujas), reducción de trabajos de reparación superficial, puede ser empleado para el llenado de secciones de difícil acceso, mejora los tiempos en la construcción, disminuye o elimina el ruido potencial del vibrado, mejora la seguridad en el trabajo eliminando la necesidad de consolidación, entre otras (Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado, 2019).

Por lo antes mencionado, esta investigación se enfocó en el uso de concreto autocompactante para mejorar la capacidad de proceso en la colocación de elementos verticales de edificaciones multifamiliares.

## **1.2. Preguntas de investigación**

### **1.2.1. Pregunta general**

¿Cómo favorece el uso de los concretos autocompactantes en mejorar la capacidad de proceso en la colocación de elementos verticales de edificaciones multifamiliares?

### **1.2.2. Preguntas específicas**

¿Cómo se podrá establecer puntos críticos que no agregan valor del proceso actual de colocación del concreto en elementos verticales de edificaciones multifamiliares?

¿Qué nivel variabilidad por aspectos externos influye en las propiedades del concreto autocompactante en la colocación de concreto en elementos verticales de edificaciones multifamiliares?

¿Cuáles serían los estándares de aceptación que se deben cumplir los elementos verticales empleando concreto autocompactante de edificaciones multifamiliares?

¿Cómo se evaluará la capacidad del proceso para la colocación de concreto autocompactante en elementos verticales de edificaciones multifamiliares?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Definir cómo favorece el uso de los concretos autocompactantes para mejorar de la capacidad de proceso en la colocación de elementos verticales de edificaciones multifamiliares.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Identificar los puntos críticos del proceso actual que no agregan valor en la colocación del concreto en elementos verticales de edificaciones multifamiliares.
- Definir el nivel de variabilidad por aspectos externos influyen en las propiedades del concreto autocompactante en la colocación en elementos verticales de edificaciones multifamiliares.
- Definir los estándares de aceptación que se deben cumplir para los elementos verticales empleando concreto autocompactante de edificaciones multifamiliares.
- Definir la capacidad del proceso para la colocación de concreto autocompactante en elementos verticales de edificaciones multifamiliares.

### **1.4. Justificación**

La principal motivación para realizar esta investigación es poder mejorar la capacidad del proceso utilizando productos innovadores como los concretos autocompactantes, ya que actualmente por desconocimiento o por temor al cambio y de asumir nuevos retos se sigue manteniendo procesos tradicionales, en las empresas que manejan obras de pequeñas a medianas, que dejan de lado criterios importantes de calidad como es poner especial cuidado en la mejora de los procesos, aun asumiendo filosofías de planeamiento,

programación y control, se puede seguir mejorando en la obtención de mejores resultados operativos de los ejercicios de ejecución de obras de edificaciones multifamiliares.

Desde un punto de observación de teórico la presente investigación lograra mejorar la comprensión entre las variables en estudio, por un lado, permite el entendimiento de los fundamentos relacionado con el concreto autocompactante, por el otro, asimilar los criterios para la determinación de la capacidad de proceso real de la colocación de elementos verticales. Este desarrollo conceptual servirá como herramienta en el proceso de aprendizaje en materia de calidad en el proceso constructivo de edificaciones multifamiliares.

De la misma manera esta investigación contribuirá como un aporte teórico a los desarrollados por otros autores en materia de capacidad de proceso en la colocación de elementos verticales en edificaciones multifamiliares, a pesar que el tema del uso de concreto autocompactante para mejorar la capacidad de proceso de la colocación de elementos verticales parece ya agotado, no puede considerarse un tema suficientemente discutido, por lo que puede ser considerado como un aporte para enriquecer el debate académico que sustenta la ciencia de la construcción.

Esta investigación está justificada en el uso e importancia, a nivel de la construcción, del concreto autocompactante para elementos verticales, dado que los mismos representan opciones más estéticas para acabados más finos conservando propiedades como flexibilidad y resistencia, los cuales son parámetros importantes en todos los concretos independientemente de su finalidad.

Asimismo, el bajo índice de trabajo productivo, con un valor de 32% para la construcción de edificios en concreto armado (Guzmán, 2014), es uno de los factores principales para realizar un cambio del concreto convencional al concreto autocompactante, ya que este último elimina la actividad de vibrado, permitiendo el vaciado de mayor número de elementos verticales. Por otro lado, la mayor dependencia de la mano de obra para el proceso constructivo con concreto convencional, incrementando riesgos de una baja calidad final de los elementos verticales, mientras que el concreto autocompactante no requiere de un elevado número de colaboradores para su colocación. También se ha evidenciado deficiencias en acabados superficiales de estructuras cuando se efectúan con concreto convencional, lo que incrementa en un rango entre 2% a 5% el costo de



construcción del casco. Este costo se podrá reducir con la utilización del concreto autocompactante, ya que garantiza acabado de alta calidad.

Cabe destacar que el sector de la construcción genera en promedio 39% de las emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (el 5% corresponde a la producción de cemento), por lo cual existe la necesidad de optimizar las mezclas de concreto (Portland Cement Association, 2010).

Finalmente, metodológicamente, los fundamentos de esta investigación se basan en el uso táctico de los procedimientos fundamentados en las revisiones teóricas que permitieron aplicar los conocimientos obtenidos durante el estudio de este trabajo para lograr cumplir con el objetivo general planteado.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Sánchez Pérez, J., González García, M., Prieto Barrio, M., y López de la Osa, G. (2019), efectuaron una investigación denominada “Estudio reológico experimental de un hormigón autocompactante reforzado con fibras de acero”, tuvo como propósito estudiar las características en estado fresco de un concreto autocompactante reforzado con fibras de acero. La metodología a emplear se basó en experimento para estudiar las características del concreto, mediante los ensayos de escurrimiento, embudo en V, caja en L y escurrimiento con Anillo J, de acuerdo a la norma EHE-08.

Los autores reportaron como resultado para el escurrimiento se obtuvo un diámetro final (df) de 700 mm que en la muestra temporal del concreto tarda en alcanzar la circunferencia cuyo diámetro es 500 mm (T50) fue de 6.37 segundos (s), ambos valores cumplen lo establecido por la norma EHE-08 (df: 550-850 mm y T50:  $\leq 8$  s); para el escurrimiento con el anillo se obtuvo un df de 695 mm, siendo mayor al establecido por la norma EHE-08 (df  $\geq 50$  mm) y T50 de 2.63 s; los resultados obtenidos del método caja en L fueron T50: 4.03 s y con una capacidad de paso de 0.77, encontrándose este valor dentro del rango que establece la norma (0.75-1.00); para finalizar el resultado del embudo en V se obtuvo un tiempo de paso igual a 4.56 s. De estos resultados se concluyó que la adición de fibra reduce las características autocompactantes del concreto, sin embargo, este cumple con la norma EHE-08 por lo cual a la mezcla se le puede considerar como autocompactante.

Esta investigación permite conocer técnicas y ensayos que pueden ser aplicados al concreto para determinar si sus características corresponden a un concreto autocompactante.

Alizadeh, V. (2019), publicó un artículo el artículo llevaba por nombre “New approach for proportioning of controlled low strength materials”, realizado en Fairleigh Dickinson University, Nueva Jersey. Realizó un experimento en el laboratorio para explorar una forma más eficiente de desarrollar la metodología para dosificar mezclas de material de baja resistencia controlada (MBRC), con la finalidad de minimizar las pruebas de ensayo y error que genera estos estudios.

En la nueva metodología, las mezclas se dosifican utilizando relaciones relativas entre constituyentes, incluida la relación de volumen de pasta al volumen total de mezcla, las relaciones de masa de agua a materiales cementosos ( $w/cm$ ) y cemento portland a materiales cementados ( $pc/cm$ ). Estos parámetros se pueden ajustar de forma independiente y, por lo tanto, la metodología propuesta permite una mejor comprensión de los efectos de los parámetros anteriores sobre las propiedades de la mezcla.

Los resultados experimentales demostraron que los parámetros de relación relativa pueden proporcionar un control adecuado sobre las propiedades pertinentes del (MBRC) en cuanto a la capacidad de flujo y la resistencia a la compresión. El parámetro de volumen total de la mezcla tuvo un efecto más significativo en la fluidez en comparación con la relación  $w/cm$ ; sin embargo, tuvo poco efecto en el desarrollo de la resistencia de las mezclas de (MBRC). Se proporciona un procedimiento de diseño de mezclas basado en la nueva metodología.

Wang, L. et al. (2018), en una investigación denominada “A novel type of controlled low strength material derived from alum sludge and green materials”. En este estudio utilizaron lodos de alumbre como reemplazo parcial de material de agregado para la producción de un concreto fluido con características ecológicas. Obtuvieron mezclas de alta fluidez ( $> 200$  mm), tiempo de endurecimiento relativamente corto (24 h) y resistencia a la compresión moderada (0.3 – 1 MPa). También observaron que el agregado de este lodo de alumbre aumentó la necesidad de agua para mantener a la mezcla fluida, lo cual afecta directamente en el endurecimiento final de la mezcla y como consecuencia, disminuye la resistencia a la compresión.

Entre las mezclas estudiadas, el agregado de cenizas volantes pulverizadas resultó el mejor componente para mejorar la fluidez y las características como la resistencia a la compresión.

Mneina, A., Soliman, A., Ahmed, A., y El Naggar, M. (2018) un artículo denominado como “Engineering properties of controlled low-strength materials containing treated oil sand waste.”. Este estudio realizado entre Canadá y Egipto, investiga los efectos de incorporar arena de aceite tratada (TOSW) como un reemplazo parcial de arena o cenizas volantes en propiedades frescas y endurecidas de concreto fluido. Además, se evaluó el impacto ambiental de las nuevas mezclas propuestas. Los resultados muestran que las

mezclas de concreto que incorporaron TOSW habían cumplido con los límites y requisitos del comité 229 de ACI para este tipo de materiales, sin riesgos ambientales. La incorporación de TOSW aumentó la fluidez de todas las mezclas y consecuentemente redujo la demanda de agua para alcanzar la fluidez requerida que consecuentemente aumentó la resistencia a la compresión de las mezclas que contienen TOSW y flyash. Este nuevo material proporcionará un método de reciclaje seguro para los desechos de arena de aceite al tiempo que reduce la huella ambiental de la construcción y la industria de arena de aceite.

Teixeira, S., Santilli, A., y Puente, I. (2016), en su investigación denominada “Optimización del tiempo de desencofrado en piezas verticales de Hormigón Autocompactante”, la cual tuvo como objetivo estudiar experimentalmente la metodología de desencofrado presentada por Teixeira para hormigón autocompactante. La metodología aplicada fue experimental, basada en los coeficiente de maduración establecidos en la Norma ASTM C 1074, también se utilizó la metodología establecida por Teixeira que consiste en construir una gráfica Resistencia-Maduración empleando los coeficientes antes mencionado, esto permite conocer la resistencia a desencofrar, así como la maduración mínima requerida.

Como resultado se obtuvieron la construcción de las gráficas a edades tempranas y a 28 días a partir de probetas cilíndricas curadas bajo la misma condiciones; asimismo de la encuesta aplicada a 70 directores de obras en Uruguay se obtuvo que la resistencia suficiente para desencofrar un elemento vertical debe ser de 5 MPa; el coeficiente de maduración obtenido para la resistencia antes mencionada fue de 352.5 °C.hr.; posteriormente se procedió a realizar el desencofrado de la columna al alcanzar el valor de maduración , en paralelo se realizó en ensayo de compresión de una probeta con la misma característica de la columna (4.88 MPa) obteniéndose un error de 2.4%; Se evaluó la deformaciones en probetas elaborada a la mismas condiciones que la columnas pero curadas a  $20 \pm 1$  °C, se obtuvo que cuando las probetas se desencofraron a una resistencia  $\geq 5.0$  MPa, los valores de las dimensiones variaron en 0.05%, lo que quiere decir que a partir de esa resistencia las deformaciones no son significativas; en cuanto a la presión, la cual se mido con sensores de presión a 10 cm de la base del encofrado, se obtuvo que la presión lateral en los paneles del encofrado se había estabilizado al momento de alcanzar el punto de maduración, lo que indica que puede sostenerse a sí mismo.

Esta investigación muestra una metodología para determinar la maduración de los elementos verticales y la resistencia para ser desencofrado.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Salgado Ale, O., y Peralta Baluarte, R. (2016), culminan una tesis cuyo título fue “Análisis técnico-económico del concreto fluido como reemplazo del relleno estructural compactado – en la construcción de la planta concentradora del proyecto minero las bambas”. Su objetivo principal fue hacer viable el reemplazo del relleno estructural compactado con concreto fluido en el proyecto minero Las Bambas. Esta investigación tuvo un nivel descriptivo, experimental. Utilizaron como material agregado, suelo extraído de la cantera proyecto Las Bambas y de canteras en la ciudad de Tacna, y compararon los resultados de su agregado a la mezcla de concreto, para así diferenciar costos y mejorar las características del concreto.

Las mezclas que realizaron cumplieron con el debido estándar para determinar a la mezcla como un concreto fluido que además presentaba un 85% de ahorro en costos y 98% de ahorro en el tiempo de aplicación en comparación con el relleno compactado manual. De igual forma determinaron que este tipo de rellenos pueden ser utilizados ante condiciones climáticas extremas y que el trabajo productivo en la colocación de los mismos, se mejora en un 17%, ya que no existe necesidad de reparar daños debido al clima.

De los Ríos, A., y Tolmos, F. (2016), efectuaron su tesis denominada “Optimización en el Sistema Constructivo para Elementos Verticales en edificaciones empleando el Sistema de Vaciado por Inyección desde la parte inferior con concreto auto compactante”, donde propusieron mejorar los procedimientos incluidos en los procesos de colocación de concreto por inyección bombeando desde la base inferior del encofrado el concreto auto compactante, de esta manera haría una optimización tanto técnica como económica del proceso de vaciado. En este estudio observaron las técnicas de vaciado de concreto y compararon los resultados según costos de proceso en 8 obras en la ciudad de Lima. Determinaron que el sistema de vaciado por inyección mejora el presupuesto no desde el punto de vista de costo de material, si no del punto de vista de trabajo rehecho y costo de mano de obra, ya que el acabado que deja este método de vaciado es considerablemente mejor al sistema convencional.

Considerando estos resultados, el sistema de vaciado por inyección de concreto, utilizando un material modificado con un agregado, puede mejorar tanto los acabados como el tiempo de fraguado del mismo.

Rabanal Gonzales, D. C. y Su Chaquí, R. (2017), en su tesis denominada “Diseño de un concreto autocompactable”, plantearon un diseño de un concreto autocompactable para perfeccionar los índices de calidad de los elementos estructurales de concreto utilizados en proyectos de edificación grandes, además de dar a conocer su expertis en el conocimiento de la utilización de tecnologías innovadoras con el uso de aditivos superplastificantes, desarrollar su réplica para obras de edificación que manejen volúmenes de concreto importantes cuya densidad de refuerzo sea alta. Para llegar a un diseño de concreto que cumpla con los requisitos de autocompactabilidad elaboraron 3 mezclas referenciales con los siguientes componentes: cemento, agua, arena amarilla, piedra chancada y aditivos (SikaViscocrete 1110 y MicrosíliceSika Fume), y en orden de poder estudiarlos, debían satisfacer parámetros básicos del concreto autocompactante como: Capacidad de relleno, capacidad de paso y Resistencia a la segregación.

Las mezclas cumplieron con los parámetros de caracterización del concreto fluido y, además, determinaron que pueden aportar hasta un 19% de ahorro en comparación con el concreto convencional.

Ruíz, J. C., y Rodríguez, A. F. (2018), presentan en sus tesis titulada “Influencia del aditivo plastificante en las propiedades del concreto en edificaciones unifamiliares en Huancayo”, un análisis de la influencia del aditivo plastificante en las propiedades del concreto para un  $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$  en edificaciones unifamiliares. Su investigación utilizó el método científico y el nivel la de investigación fue explicativo, el diseño de la investigación fue experimental con un diseño con posprueba únicamente y grupo de control.

Su principal conclusión es que las propiedades del concreto analizadas son favorecidas, excepto la exudación. El agregado plastificante produce un incremento significativo en esta característica, que genera una superficie porosa de menor resistencia.

Vilca, J. (2018), realizó un trabajo titulado “Planteamiento del mejoramiento del suelo empleando relleno fluido para la construcción de los edificios multifamiliares en la obra casa club recrea “los nogales”, distrito de El Agustino, Lima”, el cual buscaba brindar una alternativa de solución a los problemas de suelos, para estructuras donde los procedimientos tradicionales de compactación no son suficientes ante las exigencias solicitadas. En esta obra se generó la necesidad de colocar concreto de relleno debajo de la cimentación de los edificios, debido al mal terreno donde se sitúa. De esta forma,

propone una mezcla de cemento fluido utilizando el agregado de excavación procedente de la obra.

Su principal conclusión establece que, entre los beneficios de la utilización de concretos fluidos para relleno de suelos de obras en construcción, está la facilidad de colocación en obra, no necesitan compactación, la homogeneidad y sobre todo la seguridad que infiere su comportamiento a largo plazo, con ausencia de asentamientos y deformaciones, que pueden ser molestias para los beneficiarios o constructores, ya que existe posibilidad que en el futuro tengan que hacer costosas reparaciones, cuando se trata de rellenos granulares.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Concreto o relleno autocompactante**

Los concretos autocompactantes son una tecnología que nos permite explorar las propiedades de los concretos en su estado fresco, en su correcta consolidación, cuando esta se vierte directamente a los elementos estructurales, dando muchas oportunidades de mejora para las propiedades con el desempeño de los elementos vaciados en estado endurecido logrando una mejor homogeneidad en el comportamiento mecánico, incrementando su durabilidad en el tiempo al reducir imperfecciones a causa de agentes externos.

Los concretos autocompactantes, tienden a consolidarse por sí solos obviando la utilización del vibrado, inclusive en elementos cuyo espesor y confinamiento de acero de refuerzo sea denso, por ser un concreto de alto desempeño, ya que pertenece al grupo de concretos especiales.

La trabajabilidad de los concretos autocompactantes se refleja en la propiedad de poder fluir por la armadura sin presentar segregación. (CHUTAN,2004)

El concreto autocompactante es una mezcla de agregado, agua, cemento y aditivos. Cabe decir que no es un hormigón y tampoco lo reemplaza. El concreto fluido busca ayudar y simplificar la ingeniería, para esto, se estudian y clasifican sus componentes.

El uso de aditivos para el concreto se ha estado masificando y perfeccionando en el sector construcción, gracias a la necesidad de mejorar las propiedades de este material.

El primer registro bibliográfico de la utilización de aditivos en el concreto fue en 1964, por el “U.S. Bureau of Reclamation”, desde entonces, a nivel mundial se han desarrollado

nuevas mezclas y tecnologías asociadas al concreto. Específicamente el concreto fluido, también llamado relleno fluido, posee propiedades muy útiles en la construcción, al tener una consistencia casi líquida, permite llenar y adoptar la forma completa de los moldes que lo contengan (Rivera, 2008).

#### **2.2.1.1. Cemento.**

El cemento es un material en polvo que se expande al contacto con el agua, une partículas y llena espacios vacíos generando resistencia mecánica al hidratarse. El cemento se obtiene a través de la molienda del clinker, sulfato de calcio y compuestos esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y en algunos casos se le adicional caliza durante la molienda (Ruíz y Rodríguez, 2018).

No existen restricciones que condicionen el uso de cualquier cemento para la elaboración de concretos autocompactantes, por lo tanto, debe de cumplir con la norma NTP 334.009 o ASTM C150

Existen varios tipos de cemento, básicamente clasificados según su resistencia a los sulfatos y al calor de hidratación (Salgado y Peralta, 2016):

- **TIPO I:** De uso general. Aplicable donde no se requieran propiedades especiales.
- **TIPO II:** Moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Aplicable en estructuras con entorno agresivo.
- **TIPO III:** Rápido desarrollo de resistencia con elevado calor de hidratación. Para uso en climas fríos.
- **TIPO IV:** Bajo calor de hidratación. Usado en concretos masivos.
- **TIPO V:** Alta resistencia a sulfatos. Aplicable en entornos muy agresivos.

Así mismo se producen cementos denominados “Mezclados o adicionado”, siendo éstos:

- **TIPO IS:** Cemento al que se le ha añadido entre un 25% a 70% del peso total, de escoria de altos hornos.
- **TIPO ISM:** Cemento al que se le ha añadido menos de 25% del peso total, de escoria de altos hornos.
- **TIPO IP:** Cemento al que se le ha añadido puzolana en un porcentaje que oscila entre 15% y 40% del peso total.



- **TIPO IPM:** Cemento al que se le ha añadido puzolana en un porcentaje menor del 15% del peso total.

#### **2.2.1.2. Agregados.**

Estos se clasifican en agregados finos o gruesos, lo cual está determinado por el análisis granulométrico del material. En el caso de los agregados finos, la Norma Técnica Peruana 400.037 y NTP 400.011 establece que el tamaño de partícula de estos va de 150  $\mu\text{m}$  a 9,5 mm. Mientras que para los agregados gruesos va de 300  $\mu\text{m}$  a 100 mm.

Los agregados son en la mayoría de casos la mayor consistencia de las mezclas de concreto fluido. Los agregados que cumplan la norma ASTM C 33 son recomendados para el uso de este concreto fluido, ya que por lo que general están disponibles en los locales de abastecimiento de materiales (Salgado y Peralta, 2016).

En el caso de diseños de mezcla de concretos autocompactantes, el contenido de agregado que representara el tamaño entre 0.074 mm y 4.75 mm, las cantidades de partículas finas inferiores a 0.150 mm, número muy valorado para ensayos reológicos ya que deben de alcanzar cantidades mínimas de material fino procedente de los aglomerantes y la área para evitar la segregación. (EFNARC,2002)

#### **2.2.1.3. Aditivos.**

Estos pueden agregarse al concreto antes o durante el mezclado y no son parte del agregado, del agua o del cemento. Existe una diversidad bastante amplia de aditivos que son utilizados en mezclas de concreto. Su utilización depende de las características que se requieran en el concreto (Ruíz y Rodríguez, 2018).

- Aditivos inclusores de aire: se usan para incorporar burbujas de aire en la mezcla, ya que esto mejora la durabilidad y resistencia del concreto expuesto a bajas temperaturas.
- Aditivos reductores de agua: se utilizan para reducir la relación agua-cemento. Esto mejora la resistencia del concreto mientras que la adición de un aditivo alto en reducción de agua puede aumentar la retracción del concreto por secado.
- Superplastificantes y plastificantes: su función está en el aumento de la trabajabilidad en un corto tiempo, de 30 a 60 minutos.

- Aditivo retardante: se utilizan para extender el tiempo de fraguado del concreto disminuyendo la temperatura de la mezcla. Aumentan la exudación del concreto y extienden la trabajabilidad en ambientes calurosos.
- Aditivo acelerante: son utilizados para acelerar la tasa de hidratación y desarrollo de resistencia a edades tempranas del concreto.

En la elaboración de concretos autocompactantes se utilizaron aditivos superplastificantes, de alto rango como el SIKA VISCOCRETE 3330, la que influirá en la propiedad de fluidez de la mezcla.

#### **2.2.1.4. Agua.**

La norma ASTM C 94 provee información adicional sobre los requerimientos de calidad del agua. Se utiliza mayores cantidades de agua en rellenos fluidos que en concreto. El agua sirve como un lubricante para proveer características de alta fluidez y promover la consolidación de materiales. Los contenidos de agua típicamente van desde 193 hasta 344 kg/m<sup>3</sup> para la mayoría de rellenos fluidos con contenidos de agregados (Rivera, 2008).

### **2.2.2. Herramientas de optimización de proyectos**

La industria de la construcción actualmente se encuentra en auge, por la gran demanda mundial poblacional, sin embargo, es una industria que produce un gran volumen de emisiones y residuos sólidos. Una manera de mejorar las consecuencias de la industria, es aplicando nuevas metodologías de planificación y manejo de procesos, que permitan disminuir costos, mejorar calidad del producto y realizar el uso óptimo de los recursos (Kramat *et al.*, 2019).

Como herramienta para esta idea, la filosofía Six Sigma, se puede lograr implementar en proyectos de construcción para mejorar estos puntos.

La filosofía Six Sigma es un instrumento que se usa con la finalidad de medir y mejorar la calidad. Se define como una metodología basada en datos para conseguir la calidad más cercana a la perfección. Esto se consigue examinando los procesos productivos de manera exhaustiva (Navarro *et al.*, 2017).

Para alcanzar los objetivos en esta metodología, se tienen 5 pasos: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar. Su nombre (Six Sigma) representa el número el número

de desviaciones estándar obtenidas a la salida del proceso. La finalidad es aumentar la capacidad de los procesos, de tal forma que estos generen los mínimos defectos por millón de unidades producidas (Navarro et al., 2017).

En el área de la construcción civil, hay una considerable falta de calidad en las construcciones, la cual tiene su origen predominante en la fase de proyecto, provocando costes económicos y sociales muy elevados. Si bien se han implantado sistemas de control y de aseguramiento de la calidad en los procesos de diseño de los proyectos de construcción, éstos no siempre alcanzan a todas las empresas ni a todos los profesionales del rubro.

La filosofía subyacente en la metodología Six Sigma ha permitido reducciones radicales en el número de los fallos y en los costes de calidad de muchas empresas líderes en sectores industriales y de servicios, así como un incremento sustancial de la satisfacción de sus clientes (Yepes y Pellicer, 2004).

#### ***2.2.2.1. Procedimiento para implementar Six Sigma.***

La filosofía Six sigma utiliza la metodología DMAIC (Define, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar), de acuerdo a Salazar (2020) estas consisten en:

- Definir: Se define el proyecto a realizar, generalmente en función a propósito, alcance y resultados; o en función a problema, procesos y objetivos. La finalidad o los objetivos del Six sigma serán disminuir la tasa de defectos a menos de 3,4 por millón, en función del tiempo estimado para cada organización. Esta se apoya en las herramientas: Diagramas matriciales, Diagramas Pareto, Mapas de procesos.
- Medir: Se obtienen datos y mediciones del proceso. Es usual que esta fase se soporte en mapas de valor y observación. Deben medirse y documentarse aspectos claves, datos relevantes, contemplar todas las variables y los parámetros que afectan los procesos. Las Herramientas que se puede emplear son: Diagramas de flujo, Mapas de proceso, Técnicas de muestreo, AMEF, QFD, Modelo de Kano, OEE, Nivel Sigma.
- Analizar: En este paso los datos recabados en la medición se convierten en información; en esta fase deben identificarse a partir de las variables y los parámetros, las causas claves de los problemas. Herramientas de apoyo: Mapas de valor, Diagramas de flujo, Diagramas de recorrido, Análisis de mudas, Ishikawa, Gráficas de control, Cpk, AMEF.

- **Mejorar:** Según las causas principales de los problemas, deben modificarse o rediseñarse los procesos. Es clave involucrar al personal que se relaciona directamente con los procesos, esto constituye un paso fundamental en la continuidad de las mejoras. Herramientas de apoyo: 5's, Ingeniería de métodos, Balance de líneas, SMED, TPM, Kanban, Andon.
- **Control:** Se debe verificarse que se sostengan los resultados, esta fase es el principio de la mejora continua. Las mejoras en el proceso deben asegurarse de manera que se sostengan los niveles de desempeño, del mismo modo en que se adaptan mejoras incrementales a lo largo del tiempo. Es vital implementar en esta fase sistemas de recolección de información de manera que permita contrastar constantemente los indicadores del proceso mejorado con los parámetros identificados en la fase definir. Herramientas de apoyo: SIPOC, Andon, POE's, LUP's, Capacitación.



Figura 2 Metodología DMAIC. Fuente: Salazar (2020).

#### 2.2.2.2. Capacidad de proceso.

La capacidad de proceso es el grado de aptitud que tiene un proceso para cumplir con las especificaciones técnicas deseadas. Cuando la capacidad de un proceso es alta, se dice que el proceso es capaz, cuando se mantiene estable a lo largo del tiempo, se dice que el proceso está bajo control, cuando no ocurre esto se dice que el proceso no es adecuado para el trabajo o requiere de inmediatas modificaciones (Salazar, 2020).

El índice de capacidad real (Cpk). representa la medida de la capacidad potencial del proceso para cumplir con las especificaciones de calidad considerando donde se localiza la media del proceso respecto a las especificaciones. La tabla 4.1, nos muestra la interpretación cualitativa del índice Cpk.

Tabla 1. Interpretación cualitativa del índice Cpk.

Valor del Cp	Clase de proceso	Decisión
<b>Cpk &gt; 2</b>	Clase mundial	Tiene calidad seis sigma.
<b><math>1.33 \leq Cpk \leq 2</math></b>	1	Más que adecuado.
<b><math>1 \leq Cpk &lt; 1.33</math></b>	2	Adecuado para el trabajo, pero requiere de un control estricto conforme el Cp se acerca a 1.
<b><math>0.67 \leq Cpk &lt; 1</math></b>	3	No adecuado para el trabajo, se requiere un análisis del proceso y modificaciones para alcanzar la calidad satisfactoria.
<b><math>0.67 &lt; Cpk</math></b>	4	No adecuado para el trabajo, se requiere realizar modificaciones de inmediato.

Fuente: Salazar (2020).

### 2.2.3. ACI 117-06. Especificaciones de las tolerancias para la construcción y los materiales de concreto y comentario

El alcance de la norma ACI 117-06, es establecer las tolerancias estándar para la construcción de concreto. Los valores de tolerancia afectan los costos de la construcción. El uso específico de un elemento de tolerancia puede justificar menos o más tolerancias estrictas de esta normativa. Las tolerancias en esta normativa son para la construcción de concreto y construcción de procedimientos estándar (American Concrete Institute [ACI], 2006). A continuación, se describen los diferentes valores de tolerancia para los elementos verticales de acuerdo a la norma ACI 117-06.

#### *Elementos de construcción de moldeo vertical en el lugar.*

Para los elementos verticales la desviación de la plomada para edificios y núcleos se debe considerar la traslación y rotación desde un punto fijo en la base de la estructura, la cual tendrá las siguientes tolerancias:

1. Cuando la altura es de 100 pies (30 m) o menos,
  - a. Debe haber  $\pm 1/2$  pulg. (13 mm) por nivel
  - b. Debe haber  $\pm 2$  pulg. (51 mm) máximo
2. Cuando la altura es superior a 100 pies (30 m),

- a. Debe haber  $\pm 1/600$  veces la altura,
- b. Debe haber  $\pm 1/2$  pulg. (13 mm) por nivel
- c. Debe haber  $\pm 6$  pulgadas (152 mm) máximo.

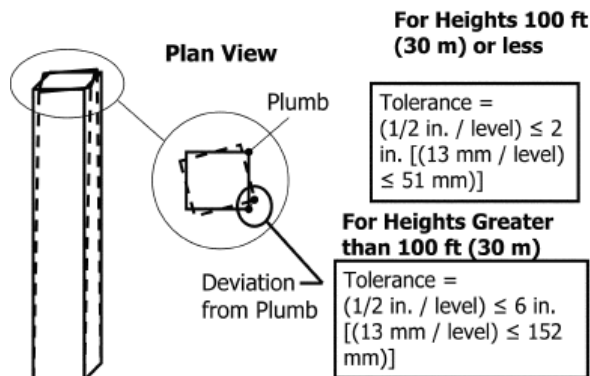


Figura 3 Desviación de la plomada para los edificios y los núcleos. Fuente: ACI 117-06 (2006).

También se debe evaluar la desviación horizontal del elemento vertical, el cual debe tener las siguientes tolerancias.

1. Entre elementos adyacentes debe haber  $\pm 1$  pulg. (25 mm) de separación
2. Para elementos horizontales
  - a. Los bordes de aberturas, mangas y encajes de 12 pulg. (305 mm) o más pequeños debe tener  $\pm 1$  pulg. (25 mm).
  - b. Los bordes de aberturas, mangas y encajes mayores de 12 pulg. (51 mm) debe tener  $\pm 2$  pulg. (51 mm).

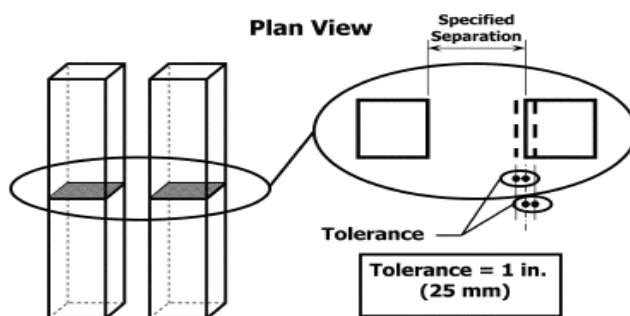


Figura 4 Desviación horizontal para elementos adyacentes y horizontales. Fuente: ACI 117-06 (2006).

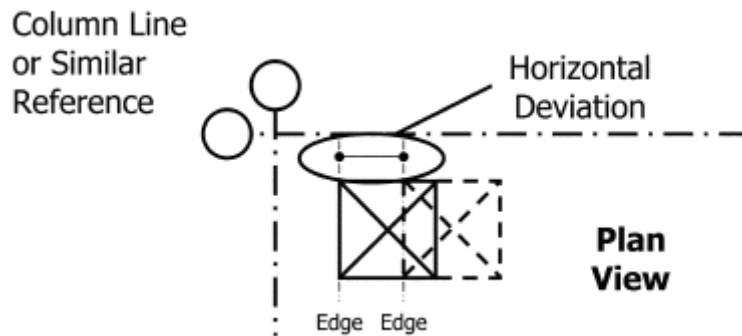


Figura 5 Bordes de aberturas, mangas e incrustaciones. Fuente: ACI 117-06 (2006).

Para las dimensiones transversales de los elementos verticales se debe cumplir los siguientes valores de tolerancias:

1. Cuando las columnas y paredes son de 12 pulg. (300 mm) o menos
  - a. Debe tener más de 3/8 pulgadas. (10 mm)
  - b. Debe tener menos de 1/4 de pulgada. (6 mm)
2. Cuando las columnas y paredes son de más de 12 pulg. (300 mm) y menos de 36 pulg. (910 mm)
  - a. Debe tener más de 1/2 pulg. (13 mm)
  - b. Debe tener menos de 3/8 pulgadas. (10 mm)
3. Cuando las columnas y paredes son de más de Más de 36 pulgadas. (910 mm)
  - a. Debe tener más de 1 pulg. (25 mm)
  - b. Debe tener menos de 3/4 pulg. (19 mm)

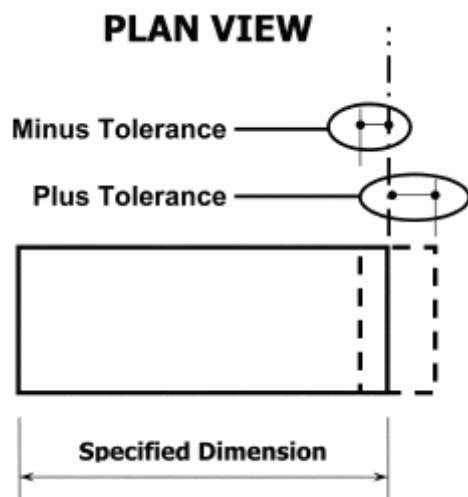


Figura 6 Dimensiones de la sección transversal. Fuente: ACI 117-06 (2006).

#### 2.2.4. ACI 304R-00. Guía para medir, mezclar, transportar y colocar el concreto

El alcance de la norma ACI 304R-00, es una guía que describen los procedimientos para obtener buenos resultados en la medición y la mezcla de los componentes del concreto, su transporte al lugar y su colocación. Los primeros seis capítulos son generales y se aplican a todo tipo de proyectos y concretos. Los cuatro capítulos siguientes tratan del concreto precolado, la colocación bajo el agua, el bombeo y el transporte en cintas. Los tres capítulos finales tratan del concreto pesado, el concreto de protección contra las radiaciones, el concreto ligero y el equipo de concreto de medición volumétrica y de mezcla continua (ACI, 2000).

En el caso de esta investigación, se describirán los aspectos relacionados con la colocación del concreto desde el equipo de transporte hasta su posición final en la estructura.

La colocación del concreto se realiza con cubos, tolvas, carros de tracción manual o motorizada, tolvas y tubos de caída, cintas transportadoras, bombas, tremias y equipos de pavimentación.

### ***Planificación.***

Un requisito básico en toda manipulación de concreto es que se debe preservar tanto la calidad como la uniformidad del concreto, en términos de  $w/cm$ , asentamiento, contenido de aire y homogeneidad. La selección del equipo de manipulación debe basarse en su capacidad para manipular eficazmente el concreto de las proporciones más ventajosas para ser consolidado fácilmente en su lugar. No debe utilizarse equipo que requiera el ajuste de las proporciones de la mezcla más allá de los límites recomendados por la norma ACI 211.1 (ACI, 2000).

La planificación anticipada debería garantizar un suministro adecuado y consistente de concreto. Se debe proporcionar una capacidad de colocación suficiente para que el concreto pueda mantenerse plástico y libre de juntas frías mientras se coloca. Todo el equipo de colocación debe estar limpio y en buen estado. El equipo de colocación debe estar dispuesto para llevar el concreto a su posición final sin una segregación significativa. El equipo debe estar dispuesto de manera adecuada y correcta para que la colocación pueda realizarse sin demoras indebidas y la mano de obra debe ser suficiente para garantizar la colocación, consolidación y acabado adecuados del concreto. Si el concreto se va a colocar de noche, el sistema de iluminación debe ser suficiente para iluminar el interior de los encofrados y proporcionar una zona de trabajo segura (ACI, 2000).



### ***Bombeo de concreto***

La ACI (2000) define el concreto bombeado como el concreto que se transporta a través de tuberías rígidas o flexibles mediante una bomba. El bombeo puede utilizarse para la mayoría de las construcciones de concreto, pero es especialmente útil cuando el espacio para el equipo de construcción es limitado. Para un bombeo satisfactorio es necesario un suministro constante de concreto bombeable. El concreto bombeable, al igual que el concreto convencional, requiere un buen control de calidad: es decir, un agregado uniforme y debidamente clasificado, y una dosificación uniforme y una mezcla completa de todos los materiales.

La salida de volumen máximo y la presión máxima sobre el concreto no pueden lograrse simultáneamente con la mayoría de las bombas de concreto porque esta combinación requiere demasiada potencia. Se requiere de tres a cuatro veces más presión por pie de elevación vertical que la necesaria por pie de movimiento horizontal (ACI, 2000).

### ***Equipo de bombeo***

Las bombas de concreto más comunes consisten en una tolva receptora, dos cilindros de bombeo de concreto y un sistema de válvulas para dirigir alternativamente el flujo de concreto hacia los cilindros de bombeo y, desde ellos, hacia la tubería. Un cilindro de concreto recibe el concreto de la tolva receptora mientras que el otro lo descarga en la tubería para proporcionar un flujo relativamente constante de concreto a través de la tubería hasta la zona de colocación (ACI, 2000).

Las bombas de concreto más versátiles utilizan válvulas de concreto de funcionamiento hidráulico que tienen la capacidad de aplastar o desplazar los agregados que quedan atrapados en la zona de la válvula. La mayoría de estas bombas tienen un puerto de salida de 5 pulgadas. (125 mm) o más de diámetro y utilizan reductores para alcanzar tamaños de tuberías más pequeños, si es necesario (ACI, 2000).

### ***Tuberías y accesorios***

La mayoría del concreto transportado a la colocación área mediante métodos de bombeo se bombea a través de rígidos tubos de acero o manguera flexible de alta resistencia, ambos de los cuales son llamada tubería. La flexibilidad de la manguera permite a los trabajadores colocar el concreto exactamente donde se necesita. Para las colocaciones en

grado, la manguera de goma se utiliza frecuentemente en el extremo de un tubo de acero tubería (ACI, 2000).

Componentes de las tuberías: los componentes de las tuberías de concreto pueden montarse prácticamente en cualquier orden, y luego desmontarse y reconfigurarse de manera diferente. Para lograr esta flexibilidad, cada componente de la línea de conducción requiere el uso de extremos o collares de conexión, un acoplamiento y una junta (ACI, 2000).

Las conexiones del acoplamiento requieren un anillo de sellado de la junta para mantener la presión necesaria y evitar las fugas. Los extremos de conexión más comunes utilizan un perfil de sección elevada para hacer una junta que pueda soportar presiones superiores a 2000 psi (14 MPa). También pueden soportar una tensión considerable de las fuerzas de flexión externas. Las conexiones de extremos ranurados deben no se utilizará en tuberías con un diámetro superior a 3 pulgadas (75 mm) (ACI, 2000).

La manguera de bombeo de concreto se divide en dos clasificaciones: la manguera destinada a ser utilizada al final de una línea de colocación (manguera de descarga) y la manguera utilizada en una pluma de colocación (manguera de pluma). La manguera de descarga tiene una clasificación de presión más baja. Una manguera de pluma suele conectar secciones rígidas de la pluma y debe soportar altas presiones. Se requiere aproximadamente tres veces más presión para bombear el concreto a través de una determinada longitud de manguera que la necesaria para bombear a través de la misma longitud de línea de acero. La presión de bombeo puede hacer que una manguera curva o doblada se enderece (ACI, 2000).

## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. Enfoque, alcance y diseño**

Por la naturaleza de este trabajo de investigación, se ha clasificado bajo un enfoque cuantitativo ya que se realizó las mediciones de maduración y resistencia de los elementos verticales en el proceso constructivo. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2010), en investigación cuantitativa se estudian dos variables para medir su comportamiento y representarlo a través de datos numéricos.

En cuanto al alcance, el fenómeno a estudiar fue descrito en función de los resultados que se obtengan en la investigación; por lo que se clasificó como de nivel descriptivo (Palella y Martins, 2012).

Asimismo, el diseño de la investigación se consideró de tipo no experimental, puesto que las variables de estudio no fueron modificadas sino observadas en función de su desenvolvimiento natural. También el estudio contó con un diseño transversal dado que se estableció un periodo de tiempo para la realización de dicho estudio (Cabrero y Richart, 2018).

### 3.2. Matrices de alineamiento

#### 3.2.1. Matriz de consistencia

**Título:** *Uso de los concretos autocompactantes para la mejora de la capacidad de proceso en la colocación de concreto en elementos verticales de edificaciones multifamiliares*

Tabla 2. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Variables	Dimensiones	Metodología
<p><b>General</b></p> <p>¿Cómo favorece el uso de los concretos autocompactantes en mejorar la capacidad de proceso en la colocación de elementos verticales de edificaciones multifamiliares?</p> <p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo se podrá establecer puntos críticos que no agregan valor del proceso actual de colocación del concreto en elementos verticales de edificaciones multifamiliares?</li> <li>• ¿Qué nivel variabilidad por aspectos externos influye en las propiedades del concreto autocompactante en la colocación en elementos verticales de edificaciones multifamiliares?</li> <li>• ¿Cuáles serían los estándares de aceptación que se deben cumplir los elementos verticales empleando concreto autocompactante de edificaciones multifamiliares?</li> </ul>	<p><b>General</b></p> <p>Definir cómo favorece el uso de los concretos autocompactantes para mejorar de la capacidad de proceso en la colocación de elementos verticales de edificaciones multifamiliares.</p> <p><b>Específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar los puntos críticos del proceso actual que no agregan valor en la colocación del concreto en elementos verticales de edificaciones multifamiliares.</li> <li>• Definir el nivel de variabilidad por aspectos externos influyen en las propiedades del concreto autocompactante en la colocación en elementos verticales de edificaciones multifamiliares.</li> <li>• Definir los estándares de aceptación que se deben cumplir los elementos verticales empleando concreto autocompactante de edificaciones multifamiliares.</li> </ul>	<p>Concretos Autocompactante</p> <p>Elementos verticales</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructuras</li> <li>• Propiedades</li> <li>• Normatividad</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades</li> <li>• Normatividad</li> </ul>	<p><b>Enfoque:</b></p> <p>Cuantitativo</p> <p><b>Alcance:</b></p> <p>Descriptivo</p> <p><b>Diseño:</b></p> <p>No experimental y transeccional</p> <p><b>Población:</b></p> <p>08 edificaciones multifamiliares</p> <p><b>Muestra:</b></p> <p>01 edificación multifamiliar</p> <p><b>Técnica:</b></p> <p>Observación y Análisis documental</p> <p><b>Instrumentos:</b></p> <p>Guía de observación y fichas técnicas</p>

<ul style="list-style-type: none"><li>• ¿Cómo se evaluará la capacidad del proceso para la colocación de concreto autocompactante en elementos verticales de edificaciones multifamiliares?</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Definir la capacidad del proceso para la colocación de concreto autocompactante en elementos verticales de edificaciones multifamiliares.</li></ul>			
---	---	--	--	--

### 3.2.2. Matriz de operacionalización de variables

Tabla 3. Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicador	Ítem
Concretos Autocompactantes	El concreto autocompactante se define como "el que tiene la capacidad de consolidarse bajo su propio peso sin necesidad de vibración, incluso en elementos estrechos y densamente reforzados". Este concreto pertenece a la familia de los concretos de alta resistencia y tiene la propiedad de auto compactarse sin segregación, garantizando así la continuidad del concreto endurecido. (Rodríguez, 2019)	Es aquel concreto que posee la capacidad de auto compactarse, presentando propiedades altas de trabajabilidad, durabilidad, Cohesividad y resistencia.	Estructuras	Concreto premezclado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseño de CAC</li> <li>• Tiempo (horas)</li> <li>• Costo (Soles)</li> <li>• Mano de obra</li> </ul>
			Propiedades	Trabajabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de paso (seg)</li> <li>• Relleno (mm)</li> <li>• Resistencia a la segregación (adimensional.)</li> </ul>
				Durabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vida útil.</li> </ul>
				Cohesividad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concreto fresco</li> </ul>
				Resistencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Concreto endurecido (Kg/cm2)</li> </ul>
			Normatividad	ACI 304R: Colocación y transporte de concreto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de vaciado (horas)</li> </ul>
				ACI 318-19 26.5: Requisito de concreto estructural	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Homogeneidad</li> </ul>

Elementos verticales de Concreto Armado	son los elementos que se encargan de descender verticalmente las cargas hacia los elementos de cimentación. (Pallisa, 2017).	Son todos los elementos de sostenimiento como columnas, placas y muros de concreto, que se pueden fabricar con concreto fluido o autocompactante	Maduración	Temperatura*Hora	----
			Deformación	Verticalidad	• Tolerancia (0.05 mm)
				Geometría	• Tolerancia (+/- 5mm)
				Giro	• Tolerancia (+/- 2,5mm)

Fuente: Elaboración propia.

### **3.3. Población y muestra**

La población es definida por Tamayo (2003) como la totalidad de un fenómeno de estudio, incluye la totalidad de unidades de análisis que integran dicho fenómeno y que debe medirse para un determinado estudio integrando un conjunto N de entidades que participan de una determinada característica. Bajo esta premisa, la población estará conformada por 08 edificaciones multifamiliares, cuya ubicación es de origen confidencial.

Por otra parte, el edificio materia de estudio forma parte de una población de 8 edificaciones construidas por la empresa en el distrito de Magdalena del Mar, muestra de estudio es un edificio multifamiliar de 15 pisos, a lo cual Arias (2012) hace mención como el subconjunto de elementos representativos de la población, siendo escogidos en base a criterio del investigador.

### **3.4. Técnicas e instrumentos**

Para efectos de esta investigación de tipo cuantitativa, se tomó como técnica de Observación y análisis documental, por la recolección de datos de la observación directa del fenómeno de estudio, así como la revisión documental, cuya finalidad fue proporcionar las herramientas necesarias para poder obtener los resultados conforme a los procedimientos y bajo los parámetros establecidos en la normativa aplicable.

Para Arias (2012), describe que la observación directa consiste en capturar a través de la vista, en forma ordenada, cualquier evento o escenario que se suceda en una situación determinada, en concordancia a los propósitos de la investigación.

Por otra parte, los instrumentos que complementó los trabajos de investigación consistieron en la ficha de registro, en la cual se registraron todos los fenómenos analizados y las fichas técnicas del concreto fluido, las cuales fueron consultados, durante y después de las pruebas y análisis a practicar.

Según Tamayo (2003) “la ficha de registro contiene los aspectos del fenómeno que se consideran esenciales y dos aspectos diversos, una representación y un contenido” (p. 124).

Para la presente investigación se recolectaran los datos cuantitativos utilizando las técnicas del Lean Six Sigma, implica el uso de formatos de toma de datos cuyas características de los indicadores deben de ser oportunos es decir deben de medirse en el



tiempo y adecuados a las actividades, también ser excluyentes para enfocar un aspecto específico de las actividades, a su vez prácticos para que sean prácticos de trabajar, deberán ser claros para su fácil de comprensión, explícitos para que las variables sean claras, sensibles si pueden cambiar los procesos en el tiempo, transparentes y verificables los cuales deben estar soportados mediante la documentación correspondiente.

### **3.5. Aplicación de instrumentos**

Para la aplicación de los instrumentos mencionados en este trabajo de investigación, fue necesario lo siguiente:

- Se gestiono los permisos correspondientes para la ejecución de las pruebas en la ubicación de la edificación multifamiliar.
- Se reviso los procedimientos para las pruebas conforme a la normativa vigente, así como las fichas técnicas de los materiales a emplear.
- Se aplicaron los instrumentos de enero del 2018 a junio del 2018, en el distrito de Magdalena del Mar
- Los indicadores de medición usados en las actividades.
  - Tiempo de los procesos inmersos en la actividad.
    - Tiempo de vaciado de cada elemento.  
Se tomarán los datos de carácter temporal de cuanto demora un elemento en ser llenado por completo.
    - Tiempo de descarga de los camiones.  
Se tomarán los datos de tiempo de permanencia de los camiones desde su salida de planta hasta el termino de descarga.
  - Cantidad de defectos por elementos vaciados.  
Los defectos se medirán por cantidad de ocurrencia e incidencia de gravedad, esta última toma como factor la influencia directa sobre la durabilidad del material sobre el elemento estructural.
  - Comportamiento del personal para evaluar TP, TC, TNP.
  - Comportamiento de factores externos.
  - Cumplimento de especificaciones técnicas del concreto requerido.
  - Análisis económico de la partida de colocación de concreto en específico
- Se emitió las conclusiones respectivas en función de los resultados obtenidos.

- Se propone recomendaciones de mejora en el procedimiento actual.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANALISIS

### 4.1. Resultado y Análisis proceso actual

#### FICHA DE OBRA EN ANALISIS

<b>DESCRIPCION DEL PROYECTO EN ANALISIS</b>			
<b>NOMBRE DEL PROYECTO</b>	EDIFICIO MULTIFAMILIAR CRICKET PARK		
<b>CLIENTE</b>	CONSTRUCTORA S.A.C.		
<b>MONTO DE LA OBRA</b>	S/	5,866,940.29	
<b>UBICACIÓN</b>	Jr, Faustino Sanchez Carrion N° 136 140 144		
<b>DISTRITO</b>	MAGDALENA DEL MAR		
<b>DEPARTAMENTO</b>	LIMA		
<b>MODALIDAD DE EJECUCION</b>	Por contrata		
<b>SISTEMA DE CONTRATACION</b>	Precios Unitarios		
<b>AREA DEL TERRENO</b>	986.00	m2	
<b>AREA TECHADA</b>	12,619.72	m2	
<b>CARACTERISTICAS</b>			
<b>SOTANOS</b>	4	sotanos	
<b>PISOS</b>	15	pisos	
<b>ESTACIONAMIENTOS</b>	92	unidades	
<b>PLAZO DE EJECUCION (casco)</b>	280	día	

Por la naturaleza de este trabajo de investigación, se tuvo que realizar la observación y toma de datos de los procesos actuales para ello se elaboró un diagrama del proceso actual (ver figura 7) para la colocación de concreto que para propósitos de esta investigación se utilizara concreto premezclado cuyo diseño y preparación está a responsabilidad del proveedor, tomando los controles de calidad en obra para garantizar las características contratadas.

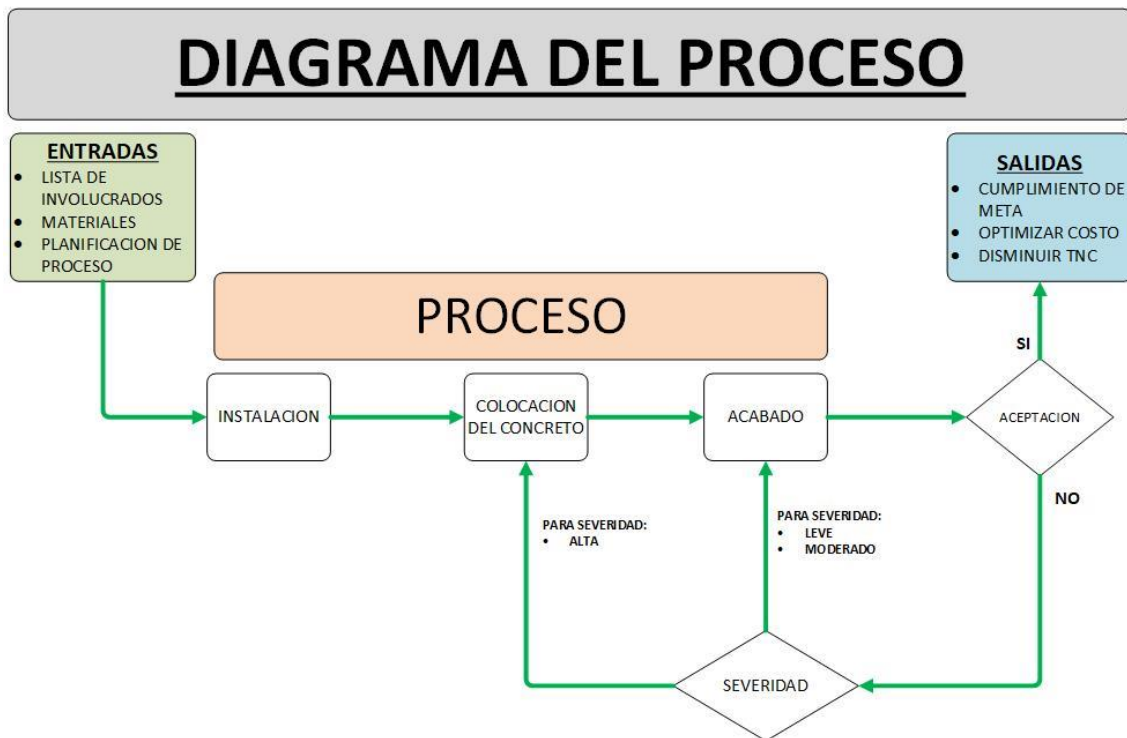


Figura 7 Diagrama de Procesos (Fuente Propia)

A su vez para poder determinar los puntos críticos se deberá desglosar y conocer la incidencia de los trabajos productivos (TP), Trabajos Contributorios (TC), y Trabajos No Contributorios, actuales para ello se utilizaron las cartas de balance como herramienta de control, estas herramientas sumados al análisis de los aspectos internos y externos que influyen en el comportamiento de la capacidad de proceso,

Haciendo ese análisis podemos definir que en los aspectos externos e internos que influyen en la capacidad de proceso son:

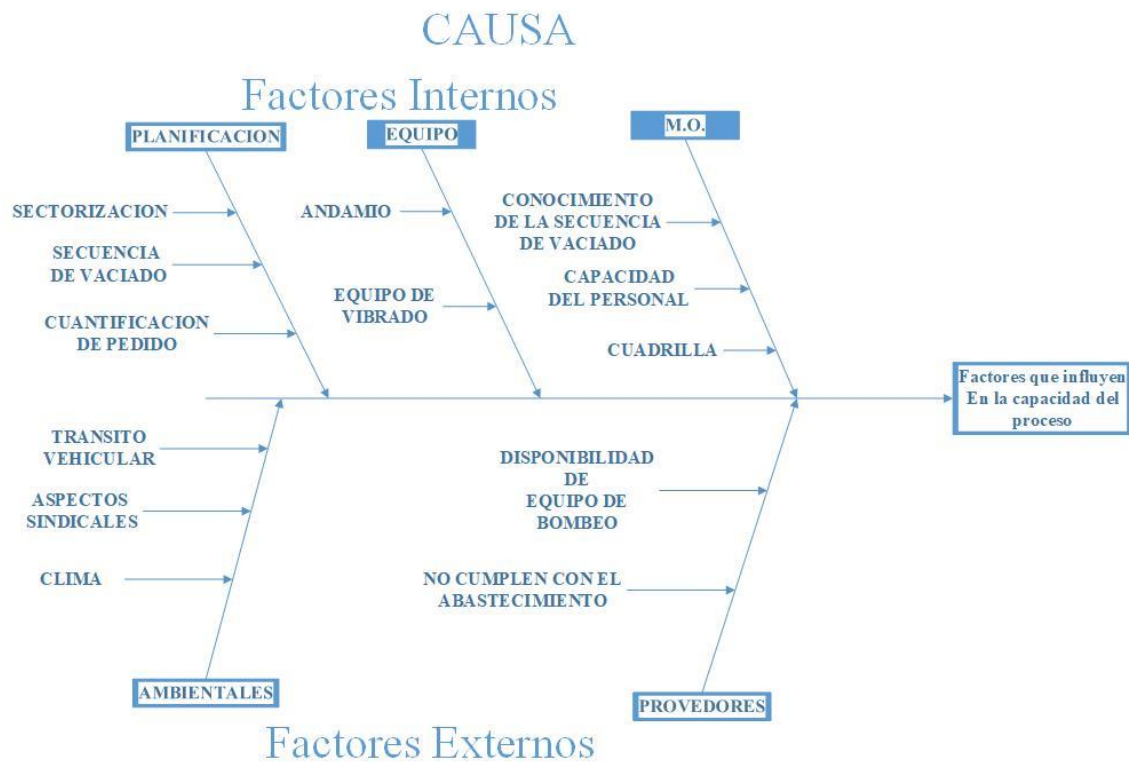


Figura 8 Causas que influyen en la capacidad de proceso (Fuente Propia)

FACTORES INTERNOS		
CATEGORIA	CAUSA	VALORACION
MO	CONOCIMIENTO DE LA SECUENCIA DE VACIADO	4
	CAPACIDAD DEL PERSONAL	5
	CUADRILLA	6
EQUIPO	ANDAMIO	8
	EQUIPO DE VIBRADO	7
PLANIFICAION	SECTORIZACION	1
	SECUENCIA DE VACIADO	2
	CUANTIFICACION DE PEDIDO	3

Tabla 4 Valoración de causas internas (Fuente Propia)

FACTORES EXTERNOS		
CATEGORIA	CAUSA	VALORACION
PROVEDORES	NO CUMPLEN CON EL ABASTECIMIENTO	2
	DISPONIBILIDAD DE EQUIPO DE BOMBEO	1
AMBIENTALES	TRANSITO VEHICULAR	3
	ASPECTOS SINDICALES	5
	CLIMA	4

Tabla 5 Valoración de causas externas (Fuente Propia)

En la definición obtenemos que los más valorados corresponde a la oficina técnica, datos que pueden tener mayor control dado que existen herramientas digitales que ayuda a disminuir la variabilidad en tal sentido tomaremos como factores a considerar donde existe mayor variabilidad, que es el sector obrero.

VALORACION DE CAUSAS INTERNAS		
CAUSA	VALORACION	RESPONSABLE
SECTORIZACION	1	OFICINA TECNICA
SECUENCIA DE VACIADO	2	
CUANTIFICACION DE PEDIDO	3	
CONOCIMIENTO DE LA SECUENCIA DE VACIADO	4	OFICINA TECNICA/ PERSONAL OBRERO
CAPACIDAD DEL PERSONAL	5	PERSONAL OBRERO
CUADRILLA	6	
EQUIPO DE VIBRADO	7	
ANDAMIO	8	

Tabla 6 Valoración de causas internas (Fuente Propia)

VALORACION DE CAUSAS EXTERNAS		
DISPONIBILIDAD DE EQUIPO DE BOMBEO	1	IMPREDECIBLES
NO CUMPLEN CON EL ABASTECIMIENTO	2	
TRANSITO VEHICULAR	3	
CLIMA	4	
ASPECTOS SINDICALES	5	

Tabla 7 Valoración de causas externas (Fuente Propia)

Una vez analizado el cuadro de las causas podemos definir los efectos asociados a estas que a su vez nos darán los puntos críticos que afectan la capacidad de proceso, estos efectos son:



Figura 9 Efectos que influyen en la Capacidad de proceso (Fuente Propia)

FACTORES INTERNOS		
CATEGORIA	EFEECTO	VALORACION
MO	DESORDEN AUMENTO DE TNC	4
	SE AFECTA EL TIEMPO DE COLOCACION	5
	CONFINAMIENTO	6
EQUIPO	DIFICULTAD PARA TRABAJAR	8
	SEGREGACION, CANGREJERAS	7
PLANIFICAION	BALANCEO DE CARGAS	1
	DESORDEN DESORIENTACION	2
	PEDIDO ERRONEO FALTA/PERDIDA DE MATERIAL	3

Tabla 8 Valoración efectos internos (Fuente Propia)

FACTORES EXTERNOS		
CATEGORIA	EFEECTO	VALORACION
PROVEDORES	NO SE CUMPLE LA META	2
	DEMORAS EN EL INICIO O CANCELACION	1
AMBIENTALES	QUE PROVEDOR NO PUEDA CUMPLIR	3
	PARALIZACIONES	5
	AFECTA LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL	4

Tabla 9 Valoración Efectos Externos (Fuente Propia)



VALORACION DE EFECTOS INTERNOS		
EFEECTO	VALORACION	RESPONSABLE
BALANCEO DE CARGAS	1	OFICINA TECNICA
DESORDEN DESORIENTACION	2	
PEDIDO ERRONEO FALTA/PERDIDA DE MATERIAL	3	
CONOCIMIENTO DE LA SECUENCIA DE VACIADO	4	OFICINA TECNICA/ PERSONAL OBRERO
SE AFECTA EL TIEMPO DE COLOCACION	5	PERSONAL OBRERO
CONFINAMIENTO	6	
SEGREGACION, CANGREJERAS	7	
DIFICULTAD PARA TRABAJAR	8	

Tabla 10 Valoración efectos internos (Fuente Propia)

VALORACION DE EFECTOS EXTERNOS		
DEMORAS EN EL INICIO O CANCELACION	1	IMPREDECIBLES
NO SE CUMPLE LA META	2	
QUE PROVEDOR NO PUEDA CUMPLIR	3	
PARALIZACIONES	4	
PROPIEDADES DEL MATERIAL	5	

Tabla 11 Valoración efectos externos (Fuente Propia)

De las tablas 10 y 11 definimos que si bien es cierto las mayores variables para la colocación de concreto están en la oficina técnica, cabe resaltar que de nada serviría una buena planificación si el área ejecutora no está al mismo nivel, los hitos a considerar para el análisis serán, la instalación del equipo de bombeo que sería el inicio de nuestra puesta en valor de la actividad de colocación de concreto en elementos verticales, también la colocación propiamente dicha, y como resultado de las 2 primeras la tercera que sería la recepción y valoración de cumplimiento de metas.

#### **4.1.1. Diseño de mezcla.**

Ya que las características y comportamiento de los concretos autocompactantes son diferentes a las de un concreto tradicional inclusive los requerimientos de protocolos para la toma de muestras, para ello deben de cumplir con tres ensayos para el concreto en estado fresco los cuales son capacidad de paso por las armaduras, capacidad de llenado, resistencia a la segregación.

El rango de aceptación de las pruebas que se realizan a los concretos autocompactantes está publicado en “Especificaciones y directrices para el hormigón autocompactable – HAC de EFNARC en febrero 2002, que es la federación europea que promueve los intereses generales y desarrolla los mismos en la industria del campo de la construcción especializada y los sistemas de hormigón, en particular en lo que respecta a las soluciones de hormigón.

De los concretos autocompactantes se puede definir que comparándolo con un concreto tradicional debe de cumplir:

**Elevada fluidez:** esta característica le da a los concretos autocompactantes la capacidad que le confiere la habilidad de paso por las paredes del encofrado y del acero por más confinado que sea.

**Evitar la segregación:** la característica de fluidez del concreto autocompactante a su vez mantiene un comportamiento homogéneo de todos sus componentes evitando la segregación y exudación de la masa.

**Viscosidad plástica:** esta característica refiere a un adecuado comportamiento de compactación por su propio peso de tal manera que sea adaptable a las formas de su contenido.

**Retracción:** a causa del mayor contenido de pasta en el concreto autocompactante, definiendo el termino por pasta a la combinación de cemento, agregado, agua y aditivos, para los concretos autocompactantes la pérdida de agua que se produce durante las horas iniciales a su colocación, consumiendo parte del agua en hidratar el cemento, provocado una retracción endógena mayor que la que se produciría en un concreto tradicional con la misma resistencia a la compresión. Contrariamente, la menor cantidad de agregado grueso en el concreto autocompactante disminuye la pérdida de agua por secado, La convergencia de las retracciones determina la retracción final, siendo idénticamente a la del concreto tradicional, estos parámetros hacen que se defina su valor general con semejantes formas normativas que se pueden caracterizar para el concreto tradicional. La estimación de la retracción generalmente, nos puede llevar a poder aseverar que hace que exista un grado de dispersión muy amplio para todo tipo de concretos, en ese sentido no deben asignarse las fallas de la muestra a la variación del comportamiento de los concretos autocompactantes.

La utilización generalmente de mayores contenidos de cemento y/o de adiciones reaccionantes en el concreto autocompactante que en el concreto tradicional para diferentes relaciones de agua/cemento, por lo que el proceso de curado es muy se convierte en una secuencia primordial dentro del esquema del proceso, por poseer un contenido mayor de estos finos, pueden potencialmente presentar un mayor calor de hidratación y una mayor retracción por secado que el concreto tradicional, por lo que se deberá extremar la precaución y extender de ser posible, como ya se mencionó anteriormente, el tiempo de curado del concreto autocompactante.

Diseño de mezcla para un concreto normal por el método del comité aci 211.

La elección de las cantidades de materiales que se requieren para la elaboración de una unidad de volumen de concreto normal, (por normal entenderemos un concreto tradicional de  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  cuyo slump estar dentro de 6" a 8"), la elección del slump pasa por equiparar las condiciones del proveedor ya que para un correcto bombeado por tubería y mitigar los atoros debe de fluctuar en el rango mencionado. Se seguirá una secuencia que este en función de las características de los materiales.

## CONCRETO CONVENCIONAL VS CONCRETO AUTOCOMPACTANTE

Para el diseño del concreto convencional hay que tener las consideraciones contempladas en el ACI 211, dados las condiciones de la edificación el requerimiento según expediente técnico.

Para el cemento se siguen los parámetros de la norma técnica peruana NTP 334.009, el cemento más usado es el cemento portland Tipo I.

la obra para elementos estructurales verticales, debían ser vaciados con concreto de resistencia  $F'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , con un slump de 4", es acá donde se tiene el primer problema, ya que las recomendaciones del proveedor de concreto para un trabajo de bombeo más eficiente el concreto debía de tener un slump de 6" a 8" esto nos da como primer punto de análisis la diferencia de precio entre un concreto  $F'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , con un slump de 4" y un concreto  $F'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , con un slump de 6" a 8"

precio del concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$			
item	cantidad total requerida	precio unitario	total
	m3	s/.	
slump de 4"	960	S/ 218.00	S/ 209,280.00
slump de 4" a 6"	960	S/ 225.50	S/ 216,480.00
slump de 6" a 8"	960	S/ 233.00	S/ 223,680.00
diferencia con costo inicial			S/ 14,400.00

Tabla 12. Comparativo de precio vs slump. (Fuente Propia)

En cuanto al diseño la relación agua cemento de un concreto tradicional, para un slump de 7" a 8" como máximo valor que puede asumir, en tanto para un concreto autocompactante

COMPARATIVO DE DISEÑO DE MEZCLAS EN PROPORCIONES			
MATERIALES	CONVENCIONAL PREMEZCLADO	AUTOCOMPACTANTE PREMEZCLADO	REFERENCIA DISEÑO EMPIRICO
	$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )		
	210	400	210
MATERIAL CEMENTANTE	300	400	385
ADICIONES		40	
AGUA	210	172	174.37
AGREGADO FINO/GRUESO	850	1100	861.85
PIEDRA USO H67	1000	620	848.23
PLASTIMENT	3		
VISCOCRETE		7.48	3.8
RELACION AGUA / CEMENTO	0.67	0.39	0.41

Tabla 13. Comparativo de diferentes diseños de concreto para la misma resistencia requerida. (Fuente Propia)

Como ejemplo las relaciones a/c para concretos autocompactantes la relación agua cemento fluctúa entre 0.32 a 0.58, con estos valores da como resultado valores altos de resistencia a la compresión.

#### 4.1.2. Tiempo.

Cuando nos referimos al tiempo estamos hablando del principal factor que influye en las otras dos variables tomadas para este proyecto de investigación, un factor a tomar en cuenta para analizar mejor este punto es que en la característica de resistencia del concreto fresco una de las variables si evaluamos causa efecto es, si los aspectos externos para la colocación del concreto no se cumplen por ejemplo la frecuencia de despacho o aspectos internos como la velocidad de vaciado de la cuadrilla se presentarían problemas de diferencia de fraguado lo que daría resistencias diferentes en un mismo elemento, donde en esta ecuación aparece el costo ya que si esto pasara y los defectos del concreto fresco fueran irreversibles se asumirían sobrecostos por el remplazo del elemento que no cumple con los requerimientos técnicos según normativa

##### 4.1.2.1. Tiempos del proveedor de concreto.

Los tiempos generales del proveedor de concreto son analizados en la tabla 12 menciono el termino generales al total de indicadores acumulados para analizarlo como un global

integrado, como se puede ver para el caso en menciona, del edificio cricket park, un porcentaje bastante alto de camiones que por tiempo de permanencia general en obra tendrían el material con características alteradas, esto podría acarrear varios inconvenientes como son:

Atoros en la tubería ya que el slump debe haber disminuido haciendo que el concreto sea menos trabajable (perdida de trabajabilidad).

Que erróneamente el personal encargado de la colocación sobre utilice la vibradora para concreto, haciendo que el material se segregue, recordemos que el diseño de mezclas contempla porcentajes de homogeneidad para elementos estructurales.

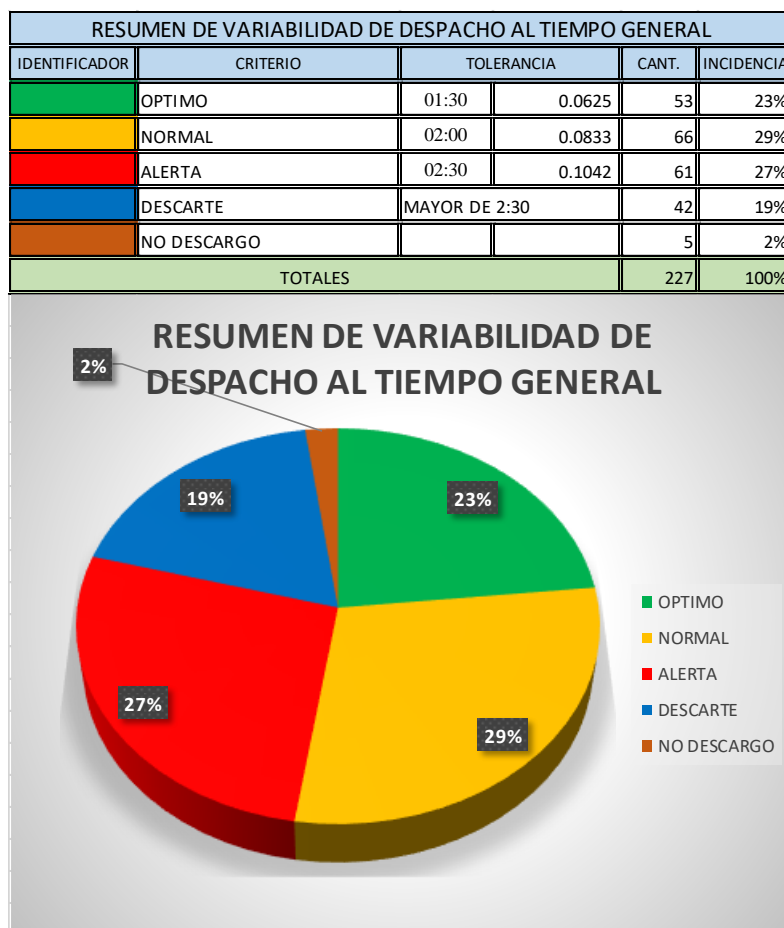


Tabla 14 Variabilidad del tiempo general situación actual (Fuente Propia).

Haciendo un desglose de las variables a contemplar discriminaremos las variables de obra, y analizaremos el recorrido de los camiones para ello se sabe que la empresa

proveedora contempla para el normal abastecimiento 3 plantas las cuales difieren en lejanía:

- Planta 1 9.8 km.
- Planta 2 11.8 km.
- Planta 3 17.5 km.

Es una variable que el proveedor contempla para garantizar que el despacho como la frecuencia solicitada por el área de planeamiento se cumpla.

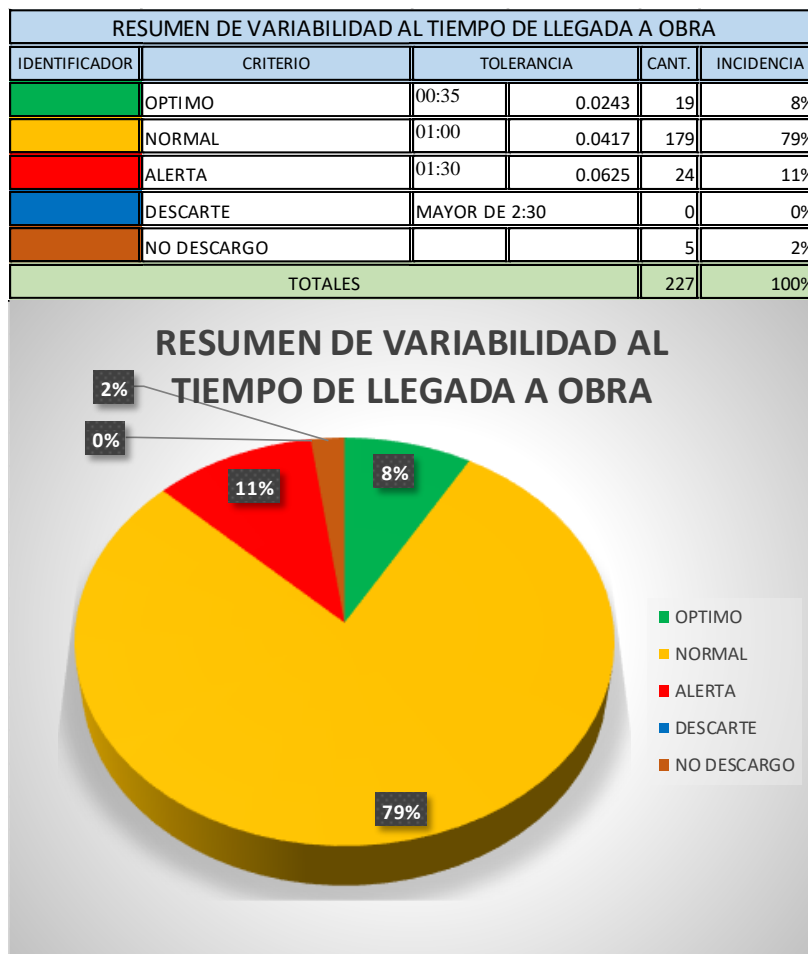


Tabla 15 Variabilidad del tiempo de llegada a obra situación actual (Fuente Propia)

En la tabla 13 podemos ver que en un 75% los vehículos no tienen inconvenientes en su llegada a obra si sumamos el 8% que llega antes del tiempo establecido estamos hablando que en nivel de confiabilidad para el abastecimiento de concreto premezclado es de 83% Reportando que solo el 11% de los vehículos reportaron problemas de congestión vehicular ya sea por eventos fortuitos o por horas punta.

En el resumen de variabilidad, de permanencia en obra, es una variable que se encuentra más cercana a los eventos que pasan dentro de la obra, ya que el proveedor de concreto solo te garantiza el slump de dos maneras:

La primera que es el slump contratado que tiene una tolerancia de +/- 2 pulgadas.

La segunda que el slump contratado solo puede ser tomado durante los primeros 30 minutos de que el camión llega a obra.

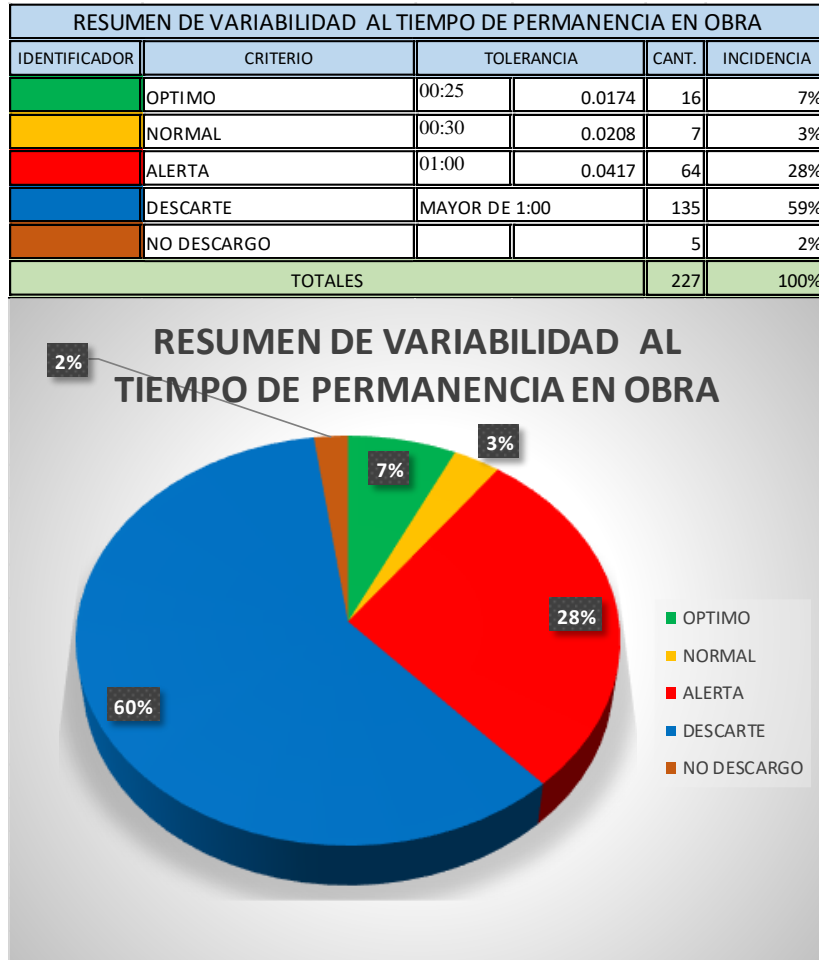


Tabla 16 Variabilidad de tiempo permanencia en obra situación actual (Fuente Propia).

El resultado del análisis de esta variable en la tabla 14, arroja que los tiempos de vaciado en obra no están siendo adecuados presentando valores muy por encima de los permitidos ya que sumando entre las alertas y los que deberían ser descartados un 88%, ahora si ya estos camiones han sido recepcionados por la obra quiere decir que los elementos estructurales, que usaron este material han sido alterados en su composición inicial, esto traería mucha variabilidad en las propiedades mecánicas del concreto.



En esta obra por nivel se cuentan 72 unidades verticales para vaciado, si el edificio tiene 15 pisos estamos hablando de 1080 unidades verticales para vaciar sacamos el 60% del total de unidades y nos da 648 unidades verticales que tendrían por lo menos un defecto severo en su composición.

Haciendo un comparativo entre la tabla 14 y la tabla 15 nos podremos dar cuenta que el 33% de camiones que está en espera asumiendo que el vaciado sea continuo ya estaría comprometiendo su trabajabilidad.

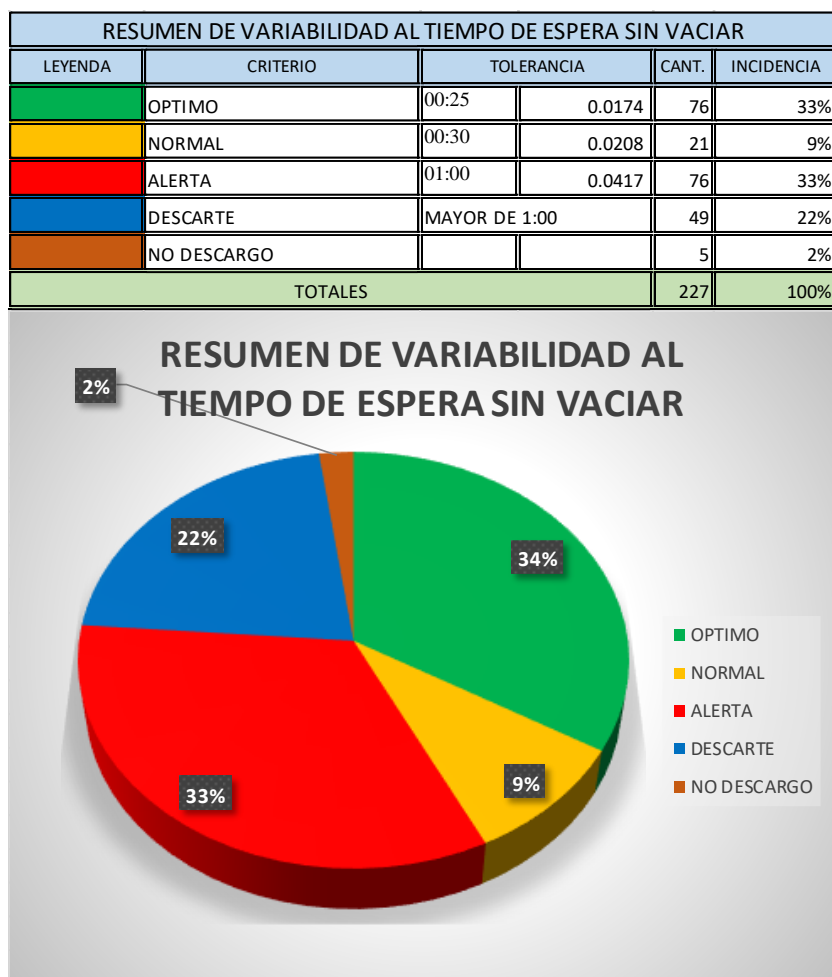


Tabla 17 Variabilidad de tiempo de esperas sin vaciar situación actual (Fuente Propia).

Hay que ser bien cuidadosos del tiempo en obra si se va a asumir el cambio a n material especial como es el concreto autocompactante las variables a ser consideradas como tiempo de espera y son más sensibles tratándose de un material que como propiedad se auto compacta por su propio peso.

El tiempo de colocación de concreto en elementos verticales debe cumplir con los siguientes parámetros:

El primero que no se debe de colocar directamente o con la manguera de manera vertical al plano de la sección por el contrario debe colocarse de manera horizontal y la descarga sea por gravedad.

Al tratarse de elementos verticales el vaciado debe ser en etapas de manera que se realiza el correcto vibrado.

De tratarse de placas el vaciado deberá realizarse vertiendo de manera continua por toda la longitud jamás se deberá utilizar la vibradora para ayudar al corrimiento lateral de la mezcla de concreto.

También deberá hacerse por etapas, lo que incrementa el tiempo de vaciado.

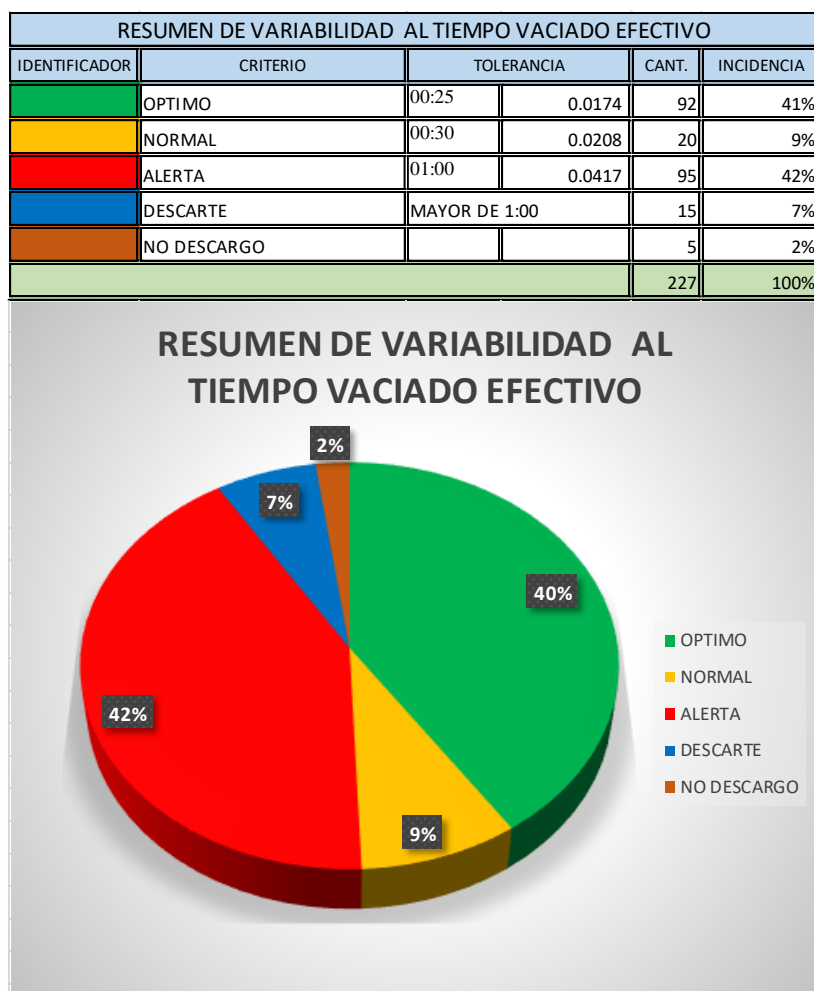


Tabla 18 Variabilidad de tiempo efectivo de vaciado situación actual (Fuente Propia).

Como resultado del análisis temporal de colocación del concreto en la tabla 16 también podemos definir que se tiene una incidencia de placas y muros equivalente al 68% sobre

el volumen total de vaciado, evidenciando que se está trabajando al límite con los tiempo en obra y no se estará cuidando las características de calidad hay que mencionar que algunos patrocinadores valoran más la producción que la calidad asumiendo que como se trata de elementos verticales estos van a ser recubiertos ocultando cualquier imperfección superficial que estos presenten.

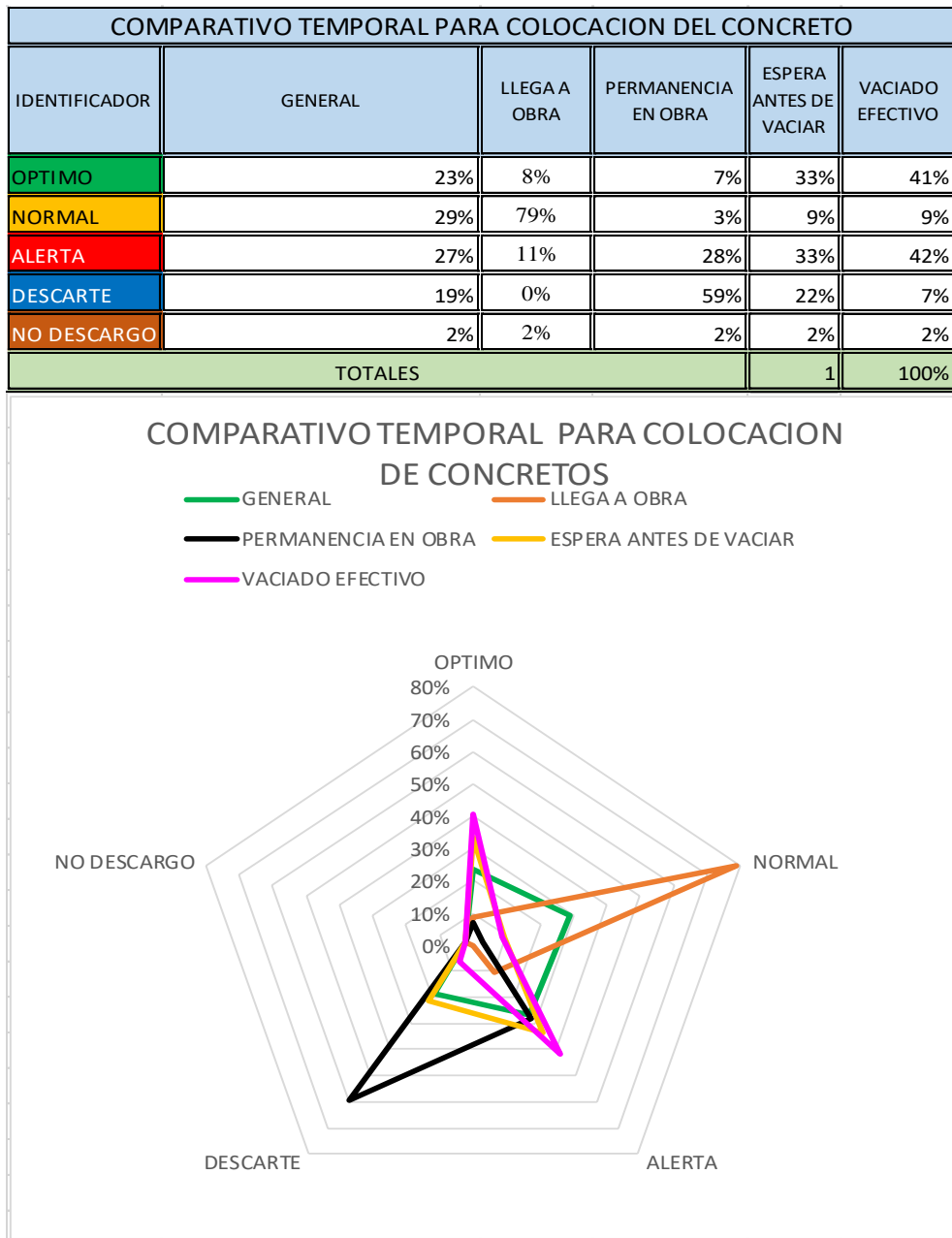


Tabla 19 Comparativo de tiempos para colocación del concreto situación actual (Fuente Propia)

Analizando un panorama global se concluye que el tiempo y los proveedores serán un punto crítico de análisis para tomar en cuenta, al presentar una variabilidad bien marcada entre los vaciados normales y los vaciados.

¿Porque es punto crítico?

El análisis de sensibilidad al comportamiento entre la llegada a obra y la descarga del material da muy poco margen para que los métodos tradicionales de colocación de concreto puedan tener, dando como resultado un 50% del material por lo menos presentaría más de un defecto en obra.

#### 4.1.2.2. Tiempos de colocación.

SECTOR 1				REAL																																
ELEMENTO EN SECUENCIA	CONCR ETO	ACUMU LADO DE CONCR ETO	SECUENCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
C1	1.05	1.05	1																																	
P7	8.26	9.32	2																																	
P6	1.84	11.15	3																																	
MC6	1.38	12.53	3																																	
MC5	1.12	13.65	4																																	
P5	4.26	17.91	5																																	
P4	4.29	22.20	6																																	
MC4	0.37	22.57	6																																	
MC3	0.09	22.66	7																																	
	0.09	22.75	7																																	
P2	1.85	24.60	8																																	
MC2	0.23	24.84	8																																	
MC1	0.09	24.92	9																																	
P1	1.96	26.89	10																																	
				7							7							7							7											
TIEMPO ESTIMADO (HORAS)				00:30							00:30							00:30							00:30											02:00
TIEMPO POR CAMBIO (HORAS)					00:05						00:10		00:05			00:15		00:10			00:05					00:15	00:25		00:20						01:50	
TIEMPO REAL (HORAS)				01:15							01:00							00:55							00:55											04:05

*Tabla 20 Tiempos reales en secuencia por elemento sector 1 (Fuente Propia)*

[illegible]

*Tabla 21 Tiempos reales en secuencia por elemento sector 2 (Fuente Propia)*

SECTOR 3				ESTIMADO																																		
ELEMENTO	CONCR ETO	ACUMU LADO DE CONCR ETO	SECUENCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32			
C1	1.05	1.05																																				
P13	8.26	9.32																																				
P14	1.84	11.15																																				
MC22	0.07	11.23																																				
MC23	0.52	11.74																																				
MC24	0.60	12.34																																				
P15	4.26	16.60																																				
P16	4.29	20.89																																				
MC25	0.37	21.26																																				
MC26	0.07	21.34																																				
P17	1.86	23.19																																				
MC27	0.23	23.43																																				
P18	1.96	25.39																																				
MC31	0.43	25.82																																				
MC32	0.07	25.89																																				
MC30	0.07	25.96																																				
MC29	0.43	26.39																																				
MC28	1.36	27.76																																				
				7							7							7							7													
TIEMPO ESTIMADO				00:30							00:30							00:30							00:30													02:00
TIEMPO POR CAMBIO				00:05							00:10		00:10		00:15	00:15		00:10		00:05					00:15	00:10		00:20								01:55		
TIEMPO REAL				00:40							01:35							00:55							01:20													04:30

Tabla 22 Tiempos reales en secuencia por elemento sector 3 (Fuente Propia)

#### 4.1.2.3. Tiempos de rectificaciones, reparaciones y trabajos rehechos.

### 4.1.3. Costo

#### 4.1.3.1. Costo concreto premezclado estándar.

**Análisis de Precios Unitarios**

Descripción de Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Total S/.
<b>Concreto f'c=280kg/cm2 en columnas, Placa y muros de Concreto</b>		Rend.	<b>30.0000</b>	m3/día	m3	<b>326.40</b>
Mano de Obra						
CAPATAZ	HH	0.20	0.0533	24.34	1.30	
OPERARIO	HH	1.00	0.2667	22.92	6.11	
OFICIAL	HH	1.00	0.2667	18.36	4.90	
PEON	HH	4.00	1.0667	16.55	17.65	29.96
Materiales						
CONCRETO PREMEZCLADO f'c=280 kg/cm2	M3		1.0500	246.00	258.30	258.30
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	GLB		5.0000	29.96	1.50	
VIBRADOR DE CONCRETO 3/4" - 2"	HM	0.50	0.1333	7.50	1.00	
BOMBA DE CONCRETO	M3		1.0800	33.00	35.64	38.14

Tabla 23 APU Concreto F'c= 280 kg/cm2. (Fuente Propia)

**Análisis de Precios Unitarios**

Descripción de Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Total S/.
<b>Concreto f'c=245kg/cm2 en columnas, Placa y muros de Concreto</b>		Rend.	<b>30.0000</b>	m3/día	m3	<b>312.75</b>
Mano de Obra						
CAPATAZ	HH	0.20	0.0533	24.34	1.30	
OPERARIO	HH	1.00	0.2667	22.92	6.11	
OFICIAL	HH	1.00	0.2667	18.36	4.90	
PEON	HH	4.00	1.0667	16.55	17.65	29.96
Materiales						
CONCRETO PREMEZCLADO f'c=245 kg/cm2	M3		1.0500	233.00	244.65	244.65
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	GLB		5.0000	29.96	1.50	
VIBRADOR DE CONCRETO 3/4" - 2"	HM	0.50	0.1333	7.50	1.00	
BOMBA DE CONCRETO	M3		1.0800	33.00	35.64	38.14

Tabla 24 APU Concreto F'c= 245 kg/cm2. (Fuente Propia)



## Análisis de Precios Unitarios

Descripción de Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Total S/.
<b>Concreto f'c=210kg/cm2 en columnas, Placa y muros de Concreto</b>		Rend.	<b>30.0000</b>	m3/día	m3	<b>297.00</b>
Mano de Obra						
CAPATAZ	HH	0.20	0.0533	24.34	1.30	
OPERARIO	HH	1.00	0.2667	22.92	6.11	
OFICIAL	HH	1.00	0.2667	18.36	4.90	
PEON	HH	4.00	1.0667	16.55	17.65	29.96
Materiales						
CONCRETO PREMEZCLADO f'c=210 kg/cm2	M3		1.0500	218.00	228.90	228.90
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	GLB		5.0000	29.96	1.50	
VIBRADOR DE CONCRETO 3/4" - 2"	HM	0.50	0.1333	7.50	1.00	
BOMBA DE CONCRETO	M3		1.0800	33.00	35.64	38.14

Tabla 25 APU Concreto F'c= 210 kg/cm2. (Fuente Propia)

## 4.1.3.2.Costo concreto premezclado Autocompactante.

CONCRETO PREMEZCLADO ESTANDAR						
TIPO DE CONCRETO	CANTIDAD REQUERIDA (M3)		PU ESTANDAR		SUBTOTAL	
CONCRETO PREMEZCLADO f'c=280 kg/cm2	366.00	S/	246.00	S/	90,036.00	
CONCRETO PREMEZCLADO f'c=245 kg/cm2	316.00	S/	233.00	S/	73,628.00	
CONCRETO PREMEZCLADO f'c=210 kg/cm2	257.00	S/	215.00	S/	55,255.00	
TOTAL DE CONCRETO REQUERIDO	939.00			S/	218,919.00	

CONCRETO PREMEZCLADO AUTOCOMPACTANTE						
TIPO DE CONCRETO	CANTIDAD REQUERIDA (M3)		PU AUTOCOMPACTANTE		SUBTOTAL	
CONCRETO PREMEZCLADO AUTOCOMPACTANTE f'c=280 kg/cm2	366.00	S/	441.00	S/	161,406.00	
CONCRETO PREMEZCLADO AUTOCOMPACTANTE f'c=245 kg/cm2	316.00	S/	415.00	S/	131,140.00	
CONCRETO PREMEZCLADO AUTOCOMPACTANTE f'c=210 kg/cm2	257.00	S/	389.00	S/	99,973.00	
TOTAL DE CONCRETO REQUERIDO	939.00			S/	392,519.00	

DIFERENCIA DE PRECIO DEL MATERIAL					S/	173,600.00
-----------------------------------	--	--	--	--	----	------------

Tabla 26 Comparativo de precios del concreto. (Fuente propia)

## 4.1.4. Mano de obra.

## 4.1.4.1.Análisis comparativo de cuadrillas.

En las semanas que duraron las evaluaciones de producción y rendimiento del personal se tomaron en cuenta aspectos como el metrado total que se debía de cumplir a la semana, a ello se debía de proponer una cantidad de mano de obra que cumpla con la producción diaria, a ello se fueron evidenciando e identificando puntos críticos como la experiencia del personal, cuan fácil asimilan las capacitaciones, también se observó la falta de experiencia al manipular herramientas y equipos como la vibradora, manguera para colocación de concreto, en la tabla 27 podemos observar que no se programa vaciados de elementos verticales los viernes y sábados, esto obedece a que los días viernes son tomados como buffers para dicha actividad, y dado que las condiciones en obra no garantizan el cumplimiento de las metas los días sábados ya que solo se tienen 5.5 horas efectivas de trabajo y de estas solo se tienen 5 dado que la última media hora se debe de entregar la obra y exteriores limpios

RESUMEN DE HORAS PROYECTADAS PARA EL VACIADO DE ELEMENTOS VERTICALES								
ITEM	METRADO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	HORAS SEMANALES PROYECTADAS
SEMANA 1	94	8.5	8.5	8.5			5.5	31
SEMANA 2	94	8.5	8.5	8.5	4.5			30
SEMANA 3	94	8.5	8.5	8.5	4.5			30
SEMANA 4	94	8.5	8.5	8.5	4.5			30
SEMANA 5	94	8.5	8.5	8.5	4.5			30
SEMANA 6	94	8.5	8.5	8.5	4.5			30
SEMANA 7	94	8.5	8.5	8.5	4.5			30
SEMANA 8	94	8.5	8.5	8.5	4.5			30
SEMANA 9	94	8.5	8.5	8.5	4.5			30
SEMANA 10	94	8.5	8.5	8.5	4.5			30
SEMANA 11	94	8.5	8.5	8.5	4.5			30
SEMANA 12	94	8.5	8.5	8.5	4.5			30
SEMANA 13	94	8.5	8.5	8.5	4.5			30
SEMANA 14	94	8.5	8.5	8.5	4.5			30
SEMANA 15	94	8.5	8.5	8.5	4.5			30

Tabla 27, Resumen de horas proyectadas para colocación, (Fuente Propia)

Cuando se plantearon mejoras, se basaron en la evaluación situacional como se puede observar en la tabla 28 la jornada laboral proyectada empezaba a presentar desfases en tiempos y conllevaba al personal a cumplir horas extras, ya que los vaciados por la tarde eran un horario muy sensible y predispuesto a riesgo de no llegar a cumplir la meta, aunque la meta se cumplía en cuanto a producción, la calidad del trabajo, así como el tiempo, que tomaba realizarlo eran deficientes, entre subir, y colocar la manguera en posición sobre el andamio y durante la ejecución de los trabajos el principal problema en el momento de la colocación del concreto era que el operario encargado de la manguera

colocaba esta en con la salida en dirección vertical lo que la norma no permite ya que la energía, de caída de la mezccla de concreto ocasiona segregación y dispersión del material otro inconveniente se presentaba para realizar el vibrado de los elementos, sobre todo cuando se trataba de columnas por el poco espacio que se tenía para la ubicación de el operario el oficial y la maquina de vibrado, inicialmente fue una maquina a combustión de 2 tiempo, la cual se cambio a una vibradora más pequeña eléctrica, con la segunda se tuvieron problemas ya que al necesitar energía eléctrica, y utilizar agua para el lavado del material de desperdicio en los encofrados se generó un alto riesgo de electrocución, en un vaciado mientras se realizaba labores de vibrado en una columna el personal del proveedor desarmaba la tubería para llevarlo al siguiente punto de vaciado en ello la tubería cayo sobre el cable de alimentación para la vibradora ocasionado la ruptura del cable, produciéndose un corto que no paso a tener consecuencias personales, pero se tuvo que detener los trabajos ya que era un accidente grave por todos los elementos involucrado como zonas húmedas, electricidad, altura.

Incidentes asi hacían que las horas programadas no se cumplieran, como lo muestra el cuadro 28.

RESUMEN DE HORAS TRABAJADAS PARA EL VACIADO DE ELEMENTOS VERTICALES								
ITEM	METRADO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SÁBADO	HORAS SEMANALES REALES
SEMANA 1	94	9.5	9	8.5	5.5			32.5
SEMANA 2	94		9	9.5	9	5.5		33
SEMANA 3	94	9		9.5	9	5.5		33
SEMANA 4	94	8.5	9		9	6		32.5
SEMANA 5	94	8.5	9.5	9		5.5		32.5
SEMANA 6	94	8.5	9.5	9	9.5			36.5
SEMANA 7	94		9.5	9	9.5	5		33
SEMANA 8	94	9		8.5	8.5	4.5		30.5
SEMANA 9	94	8.5	8.5		8.5	4.5		30
SEMANA 10	94	8	8	8.5		4		28.5
SEMANA 11	94	8	8.5	9	9			34.5
SEMANA 12	94		8.5	8.5	8.5	4		29.5
SEMANA 13	94	8.5		8	8	4		28.5
SEMANA 14	94	7	8		8	4		27
SEMANA 15	94	7.5	8	8		4		27.5

Tabla 28, Resumen de horas trabajadas para la colocación de concreto, (Fuente Propia).

Como se puede ver en el cuadro 29 las primeras semanas el índice CPI, no son buenos, es cuando se propusieron mejorar dicha situación, haciendo varias propuestas entre ellas el uso de concretos autocompactantes, es cuando surgió la primera pregunta fundamental, los encofrado de obra son los adecuados para realizar este trabajo, como los encofrado de obra habían sido adquiridos en un proveedor reconocido, y el modulado de material acero,

cumplía con los parámetros de resistencia para concretos auto compactados se decidió plantear la siguiente estrategia:

Capacitar al personal.

Cuadrilla de obra fija.

Hacer seguimiento del tiempo.

Implantar administración por procesos y no por funciones.

Racionalización horaria.

EVALUACION DE PRODUCTIVIDAD									
ITEM	METRADO	HORAS SEMANALES PROYECTADAS	HORAS SEMANALES REALES	PRODUCTIVIDAD PROYECTADA M3/H	PRODUCTIVIDAD REAL M3/H	CPI	INTERVALO	DISPERSION	OBS
SEMANA 1	94	30	32.5	3.13	2.89	0.92	2.5	0.209530639	MEJORAR
SEMANA 2	94	30	33	3.13	2.85	0.91	2.58	0.363547253	MEJORAR
SEMANA 3	94	30	33	3.13	2.85	0.91	2.66	0.576293687	MEJORAR
SEMANA 4	94	30	32.5	3.13	2.89	0.92	2.74	0.834634866	MEJORAR
SEMANA 5	94	30	32.5	3.13	2.89	0.92	2.82	1.104380803	MEJORAR
SEMANA 6	94	30	36.5	3.13	2.58	0.82	2.9	1.335090912	MEJORAR
SEMANA 7	94	30	33	3.13	2.85	0.91	2.98	1.474594114	MEJORAR
SEMANA 8	94	30	30.5	3.13	3.08	0.98	3.06	1.488003037	MEJORAR
SEMANA 9	94	30	30	3.13	3.13	1.00	3.14	1.371844241	
SEMANA 10	94	30	28.5	3.13	3.30	1.05	3.22	1.155514652	
SEMANA 11	94	30	34.5	3.13	2.72	0.87	3.3	0.889233415	MEJORAR
SEMANA 12	94	30	29.5	3.13	3.19	1.02	3.38	0.625209771	
SEMANA 13	94	30	28.5	3.13	3.30	1.05	3.46	0.40161082	
SEMANA 14	94	30	27	3.13	3.48	1.11	3.54	0.23569736	
SEMANA 15	94	30	27.5	3.13	3.42	1.09	3.62	0.126378645	
				PROMEDIO	3.0280169				
				DESV. EST.	0.26617737				
				MAX	3.48148148				
				MIN	2.57534247				

Tabla 29, Evaluación de productividad, (Fuente Propia).

El proceso de cambio con las nuevas estrategias se empezó a dar en la semana 3 solo con los cambio de mejora de calidad laboral y capacitaciones, pero de igual modo no se lograba tener una mejora que pudiera verse reflejada, En la tabla 29, es cuando en la semana 5 se propuso cambiar a concreto autocompactante, aun el periodo de adaptación a las nuevas condiciones de trabajo por el nuevo material recién se vieron reflejadas en la semana 9 en adelante, se mejoro la productividad y la calidad del producto entregado se tuvieron menos desperdicios y menos quejas por el ruido del trabajo diario.

	ANALISIS DEL RENDIMIENTO DE HORAS HOMBRE											
			CUADRILLA			RENDIMIENTO						
			OP	OFICIAL	PEON	REAL HH	PROYEC. HH	RENDI. HH/M	RENDI. HH/M			
			1	1	4			REAL	PROYEC.			
CONCRETO TRADICIONAL F'C=210 KG./CM2	SEMANA 1	94	32.5	32.5	130	195	186	2.07	1.98	0.10	0.95	
	SEMANA 2	94	33	33	132	198	180	2.11	1.91	0.19	0.91	
	SEMANA 3	94	33	33	132	198	180	2.11	1.91	0.19	0.91	
	SEMANA 4	94	32.5	32.5	130	195	180	2.07	1.91	0.16	0.92	
	SEMANA 5	94	32.5	32.5	130	195	180	2.07	1.91	0.16	0.92	
	SEMANA 6	94	36.5	36.5	146	219	180	2.33	1.91	0.41	0.82	
	SEMANA 7	94	33	33	132	198	180	2.11	1.91	0.19	0.91	
	SEMANA 8	94	30.5	30.5	122	183	180	1.95	1.91	0.03	0.98	
	SEMANA 9	94	30	30	120	180	180	1.91	1.91	0.00	1.00	
CONCRETO AUTOCOMPACTA NTE F'C=210 KG./CM2	SEMANA 10	94	28.5	28.5	114	171	180	1.82	1.91	-0.10	1.05	
	SEMANA 11	94	34.5	34.5	138	207	180	2.20	1.91	0.29	0.87	
	SEMANA 12	94	29.5	29.5	118	177	180	1.88	1.91	-0.03	1.02	
	SEMANA 13	94	28.5	28.5	114	171	180	1.82	1.91	-0.10	1.05	
	SEMANA 14	94	27	27	108	162	180	1.72	1.91	-0.19	1.11	
	SEMANA 15	94	27.5	27.5	110	165	180	1.76	1.91	-0.16	1.09	

Tabla 30, Evaluación de rendimiento de mano de obra, (Fuente Propia).

ACTIVIDADES DE CONTROL EN ELEMENTOS VERTICALES METODOLOGIA ACTUAL		
	ACTIVIDAD EN SECUENCIA DE TRABAJO	RESPONSABLE
TC	INSTALACION BOMBA PLUMA	PROVEDOR
TC	INSTALACION DE TUBERIA	PROVEDOR
TP	VACIADO DE CONCRETO X ELEMENTO	CONTRATISTA
TC	TRASLADO DE UBICACIÓN DE VACIADO	PROVEDOR
TC	VIBRADO DEL CONCRETO	CONTRATISTA
TC	CURADO (POR ELEMENTO)	CONTRATISTA
TC	LIMPIEZA/TERMINO DE VACIADO	CONTRATISTA
TNC	TIEMPOS DE ESPERA POR CAMBIO DE CAMION	PROVEDOR/CONTRA TISTA
TNC	TIEMPOS DE ESPERA POR TRASLADO DE TUBERIA	PROVEDOR
TNC	TIEMPOS DE ESPERA POR ATOROS EN LA TUBERIA	PROVEDOR
TNC	RESANES Y REPARACIONES	CONTRATISTA
PROVEDOR	1 OP + 1 PE (MANO DE OBRA INCLUIDA EN EL PRECIO DE BOMBA)	
CONTRATISTA	1 OP + 1 OF + 4 PE	

Tabla 31 Cuadrilla actual (Fuente Propia)

ACTIVIDADES DE CONTROL EN ELEMENTOS VERTICALES METODOLOGIA IMPLEMENTADA		
	ACTIVIDAD EN SECUENCIA DE TRABAJO	RESPONSABLE
TC	INSTALACION BOMBA PLUMA	PROVEDOR
TC	INSTALACION DE TUBERIA	PROVEDOR
TP	VACIADO DE CONCRETO X ELEMENTO	CONTRATISTA
TC	TRASLADO DE UBICACIÓN DE VACIADO	PROVEDOR
TC	CURADO (POR ELEMENTO)	CONTRATISTA
TC	LIMPIEZA/TERMINO DE VACIADO	CONTRATISTA
TNC	TIEMPOS DE ESPERA POR CAMBIO DE CAMION	PROVEDOR/CONTRATISTA
TNC	TIEMPOS DE ESPERA POR TRASLADO DE TUBERIA	PROVEDOR
TNC	RESANES Y REPARACIONES	CONTRATISTA
PROVEDOR	1 OP + 1 PE (MANO DE OBRA INCLUIDA EN EL PRECIO DE BOMBA)	
CONTRATISTA	1 OP + 0 OF + 2 PE	

Tabla 32 Cuadrilla propuesta (Fuente Propia)

CUADRO DE PRODUCTIVIDAD EN ELEMENTOS VERTICALES DE CONCRETO CONCRETO TRADICIONAL				
TIPO DE TRABAJO	DESCRIPCION	CANT.	% DE INCIDENCIA	% DE TRABAJO
TP	VACIADO DE CONCRETO	51	25%	25%
TC	RECIBIR INSTRUCCIONES	14	7%	44%
	VIBRADO	30	15%	
	LIMPIEZA	16	8%	
	MARTILLO DE GOMA	9	4%	
	CURADO	10	5%	
	TRASLADO DE TUBERIA	11	5%	
TNC	TIEMPO DE ESPERA	12	6%	31%
	DESCANSOS	9	4%	
	RESANES O RECTIFICACIONES	26	13%	
	SERVICIOS HIGENICOS	8	4%	
	RECORRIDO IMPRODUCTIVO	8	4%	
MUESTRAS		204		
MINUTOS POR UNIDAD DE MUESTRA		2.5		
DURACION DE TODA LA ACTIVIDAD		8.5		

**PRODUCTIVIDAD  
CONCRETO TRADICIONAL**

TP 25%

TC 44%

TNC 31%

Legend: TP (blue), TC (orange), TNC (gray)

Tabla 33. Productividad Concreto tradicional. (Fuente Propia)

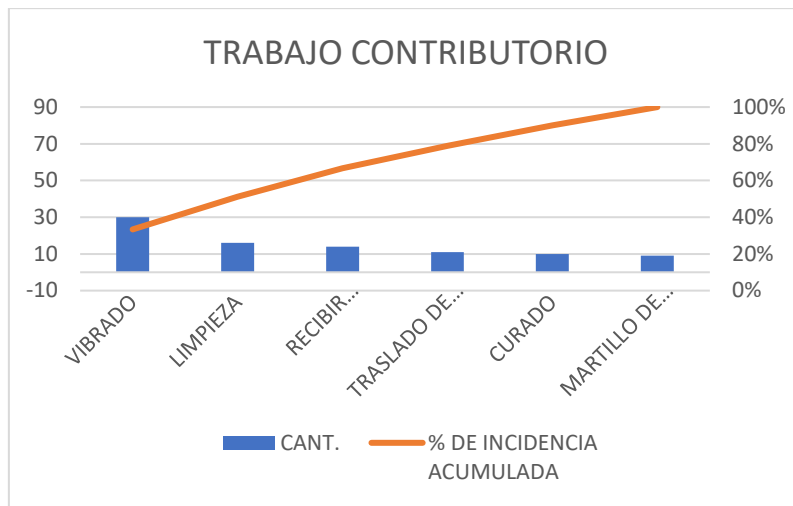


Tabla 34, Diagrama de Pareto de trabajo Contributorios concreto tradicional, (Fuente Propia).

En la tabla 34 podemos ver como el vibrado es el principal trabajo Contributorios, para esto se buscaron alternativas tecnológicas, y el proveedor de concreto en ese entonces se encontraba en fase de prueba y aceptamos realizarlo en obra el uso de concretos autocompactantes, para esto se planteó la siguiente estrategia:

Nueva sectorización y balanceo de cargas de vaciado.

La capacitación del personal de obra y compromisos con incentivos laborales para mantener la cuadrilla hasta el final de la obra y reducir la deserción.

Refuerzo de los encorados metálicos existentes, así como la tobera para la colocación del concreto.

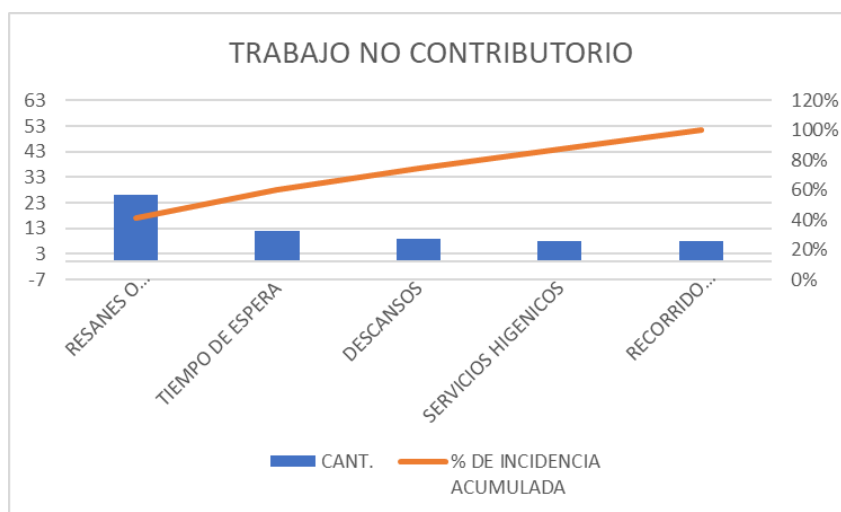


Tabla 35, Diagrama de Pareto de trabajo No Contributorios concreto tradicional, (Fuente Propia).

Y en el cuadro 35 el principal problema fue el de los resanes y tiempos de espera, por consiguiente se pensó en los concretos autocompactantes, por sus propiedades físicas y características de trabajo, eran la mejor opción para resolver este problema.

CUADRO DE PRODUCTIVIDAD EN ELEMENTOS VERTICALES DE CONCRETO CONCRETO AUTOCOMPACTANTE				
TIPO DE TRABAJO	DESCRIPCION	CANT.	% DE INCIDENCIA	% DE TRABAJO
TP	VACIADO DE CONCRETO	79	39%	39%
TC	RECIBIR INSTRUCCIONES	18	9%	27%
	LIMPIEZA	16	8%	
	MARTILLO DE GOMA		0%	
	CURADO	10	5%	
	TRASLADO DE TUBERIA	11	5%	
TNC	TIEMPO DE ESPERA	12	6%	19%
	DESCANSOS	9	4%	
	RESANES O RECTIFICACIONES	4	2%	
	SERVICIOS HIGENICOS	8	4%	
	RECORRIDO IMPRODUCTIVO	6	3%	
MUESTRAS		173		
MINUTOS POR UNIDAD DE MUESTRA		2.5		
DURACION DE TODA LA ACTIVIDAD		7.20833333		

### PRODUCTIVIDAD CONCRETO AUTOCOMPACTANTE

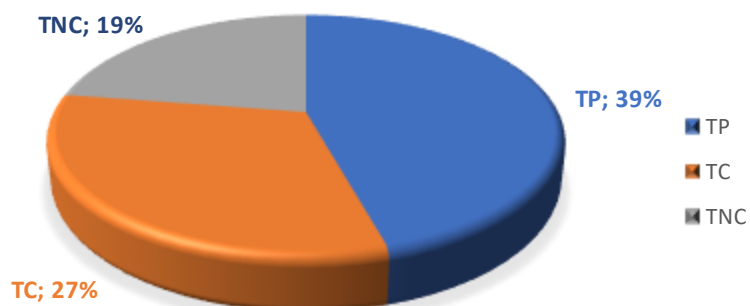


Tabla 36. Productividad Concreto Autocompactante. (Fuente Propia)



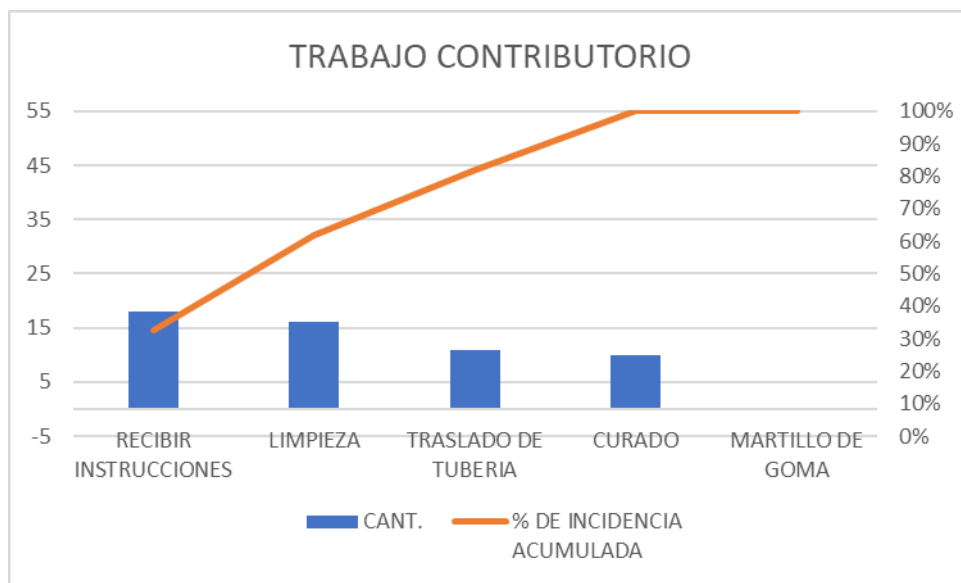


Tabla 37, Diagrama de Pareto de trabajo Contributorios concreto Autocompactante, (Fuente Propia).

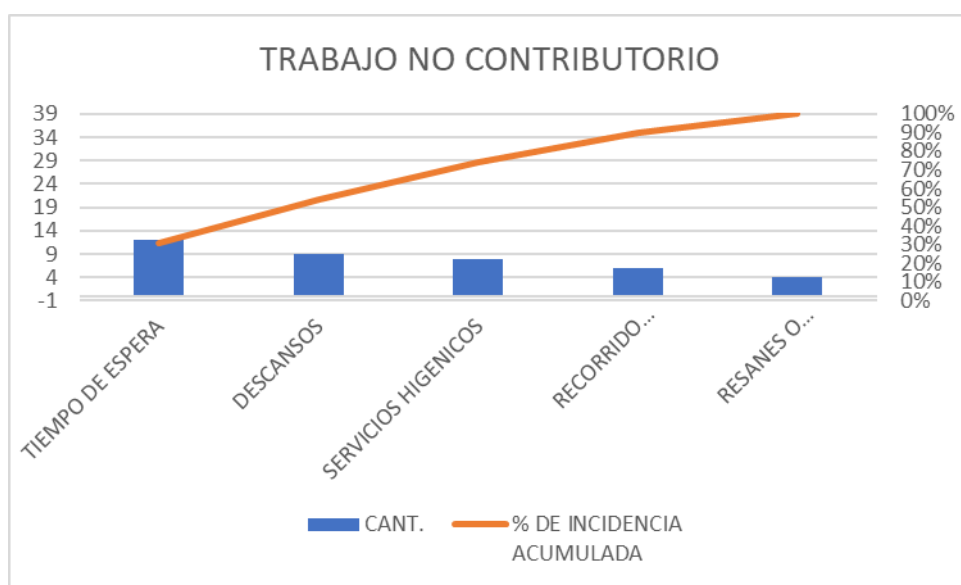


Tabla 38, Diagrama de Pareto de trabajo No Contributorios concreto Autocompactante, (Fuente Propia).

#### 4.1.4.2. Análisis de cuadrillas propuestas.

## Análisis de Precios Unitarios

Descripcion de Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Total S/.
<b>Concreto f'c=280kg/cm2 en columnas, Placa y muros de Concreto</b>		Rend.	<b>30.0000</b>	m3/día	m3	<b>515.74</b>
Mano de Obra						
CAPATAZ	HH	0.20	0.0533	24.34	1.30	
OPERARIO	HH	1.00	0.2667	22.92	6.11	
OFICIAL	HH	0.00	0.0000	18.36	0.00	
PEON	HH	2.00	0.5333	16.55	8.83	16.24
Materiales						
CONCRETO PREMEZCLADO AUTCOMPACTANTE f'c=280 kg/cm2	M3		1.0500	441.00	463.05	463.05
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	GLB		5.0000	16.24	0.81	
BOMBA DE CONCRETO	M3		1.0800	33.00	35.64	36.45

Tabla 39 APU, de concretos autocompactantes F'c = 280 kg/cm2, (Fuente Propia)

## Análisis de Precios Unitarios

<b>Concreto f'c=245kg/cm2 en columnas, Placa y muros de Concreto</b>		Rend.	<b>30.0000</b>	m3/día	m3	<b>488.44</b>
Mano de Obra						
CAPATAZ	HH	0.20	0.0533	24.34	1.30	
OPERARIO	HH	1.00	0.2667	22.92	6.11	
OFICIAL	HH	0.00	0.0000	18.36	0.00	
PEON	HH	2.00	0.5333	16.55	8.83	16.24
Materiales						
CONCRETO PREMEZCLADO AUTCOMPACTANTE f'c=245 kg/cm2	M3		1.0500	415.00	435.75	435.75
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	GLB		5.0000	16.24	0.81	
BOMBA DE CONCRETO	M3		1.0800	33.00	35.64	36.45

Tabla 40 APU, de concretos autocompactantes F'c = 245 kg/cm2, (Fuente Propia)

## Análisis de Precios Unitarios

<b>Concreto f'c=210kg/cm2 en columnas, Placa y muros de Concreto</b>		Rend.	<b>30.0000</b>	m3/día	m3	<b>461.14</b>
Mano de Obra						
CAPATAZ	HH	0.20	0.0533	24.34	1.30	
OPERARIO	HH	1.00	0.2667	22.92	6.11	
OFICIAL	HH	0.00	0.0000	18.36	0.00	
PEON	HH	2.00	0.5333	16.55	8.83	16.24
Materiales						
CONCRETO PREMEZCLADO AUTCOMPACTANTE f'c=210 kg/cm2	M3		1.0500	389.00	408.45	408.45
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	GLB		5.0000	16.24	0.81	
BOMBA DE CONCRETO	M3		1.0800	33.00	35.64	36.45

Tabla 41 APU, de concretos autocompactantes F'c = 210 kg/cm2, (Fuente Propia)

Análisis de Precios Unitarios CONCRETO TRADICIONAL					
Concreto $f_c=210\text{kg/cm}^2$ en columnas, Placa y muros de Concreto					
Rend.	30	m3/día			
Item	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
CAPATAZ	HH	0.2	0.0533	24.34	S/ 1.30
OPERARIO	HH	1	0.2667	22.92	S/ 6.11
OFICIAL	HH	1	0.2667	18.36	S/ 4.90
PEON	HH	4	1.0667	16.55	S/ 17.65
TOTAL					S/ 29.96
Análisis de Precios Unitarios CONCRETO AUTOCOMPACTANTE					
Concreto $f_c=210\text{kg/cm}^2$ en columnas, Placa y muros de Concreto					
Rend.	30	m3/día			
Item	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
CAPATAZ	HH	0.2	0.0533	24.34	S/ 1.30
OPERARIO	HH	1	0.2667	22.92	S/ 6.11
OFICIAL	HH	0	0	18.36	S/ -
PEON	HH	2	0.5333	16.55	S/ 8.83
TOTAL					S/ 16.24
DIFERENCIA COSTO HH/M3					-S/ 13.72

Tabla 42, Comparativo costo mano de obra, Fuente Propia.

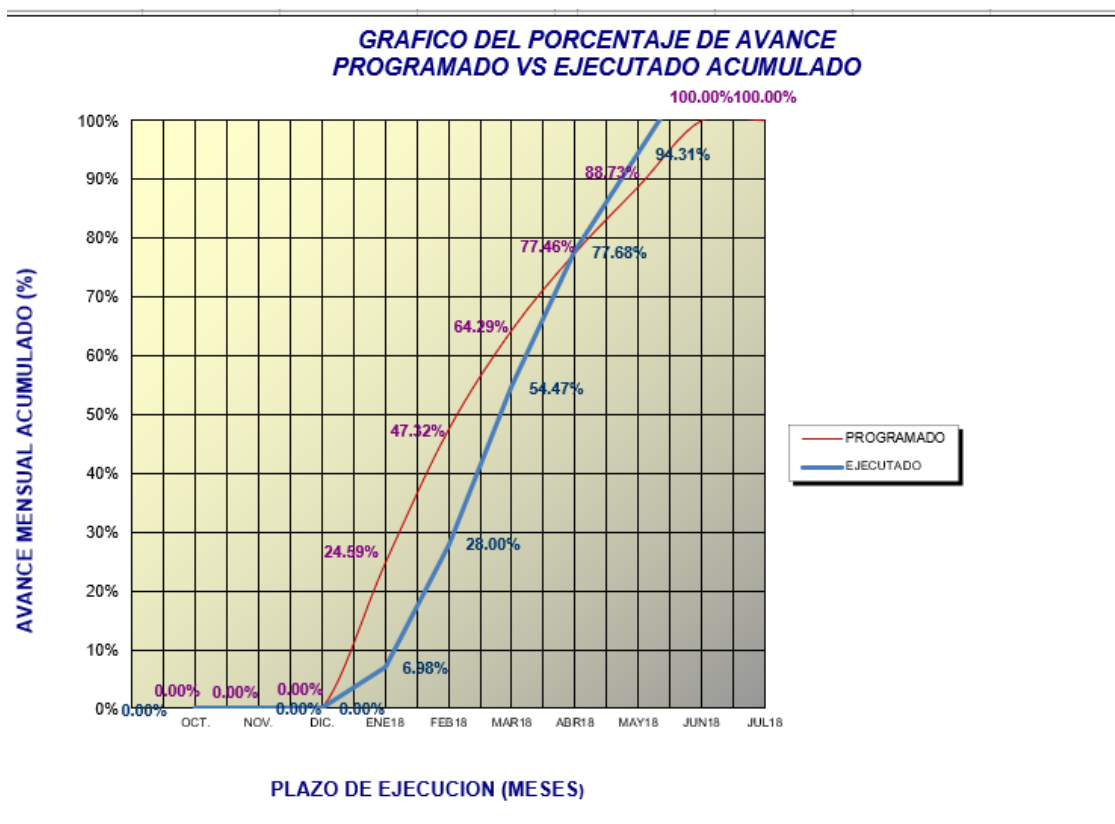


Tabla 43 Porcentaje de plan completado de costo, Fuente Propia

MONTOS VALORIZADOS PROGRAMADOS				
MES	MONTOS (Inc/IGV)		PORCENTAJES	
	PARCIAL S/.	ACUMUL. S/.	PARCIAL %	ACUMUL. %
OCT.	, 0.00	0.00	0.00%	0.00%
NOV.	, 0.00	0.00	0.00%	0.00%
DIC.	, 0.00	0.00	0.00%	0.00%
ENE18	99,537.36	99,537.36	24.59%	24.59%
FEB18	92,027.04	191,564.40	22.73%	47.32%
MAR18	68,693.10	260,257.50	16.97%	64.29%
ABR18	53,307.90	313,565.40	13.17%	77.46%
MAY18	45,615.30	359,180.70	11.27%	88.73%
JUN18	45,615.30	404,796.00	11.27%	100.00%
JUL18	0.00	404,796.00	0.00%	100.00%
<b>TOTAL</b>	<b>404,796.00</b>		<b>100.00%</b>	

Tabla 44, Montos Valorizados programados, Fuente Propia.

MONTOS VALORIZADOS EJECUTADOS				
MES	MONTOS (Inc/IGV)		PORCENTAJES	
	PARCIAL S/.	ACUMUL. S/.	PARCIAL %	ACUMUL. %
OCT.	0.00	0.00	0.00%	0.00%
NOV.	0.00	0.00	0.00%	0.00%
DIC.	0.00	0.00	0.00%	0.00%
ENE18	28,260.00	28,260.00	6.98%	6.98%
FEB18	85,068.00	113,328.00	21.02%	28.00%
MAR18	107,168.40	220,496.40	26.47%	54.47%
ABR18	93,960.00	314,456.40	23.21%	77.68%
MAY18	67,320.00	381,776.40	16.63%	94.31%
JUN18	68,460.00	450,236.40	16.91%	111.23%
JUL18	0.00	0.00	0.00%	
<b>TOTAL</b>	<b>0.00</b>		<b>111.23%</b>	

Tabla 45, Montos de valorización ejecutadas, Fuente Propia.

Los trabajos debieron haber culminado la primera semana de Junio, pero dichas labores terminaron la última semana de Junio 15 días después de su programación cabe mencionar que estos 15 días de retraso solo es a causa de las actividades propias de la colocación de concreto, solo por mencionar las partidas de acero y encofrado de elementos verticales por estar realizando una metodología Pull, se culminaban a tiempo, igualmente con las otras actividades como son los elementos horizontales como losas y vigas e instalaciones eléctricas y sanitarias, estas actividades presentaban otro tipo de problemática que digamos el impacto sobre la obra era de menor incidencia, no obstante la colocación de concreto en elementos verticales condicionaba de sobremanera muchas de las otras actividades, como podemos ver en la tabla 33 solo esta partida termino costando s/. 45,440.00 soles más de lo presupuestado.

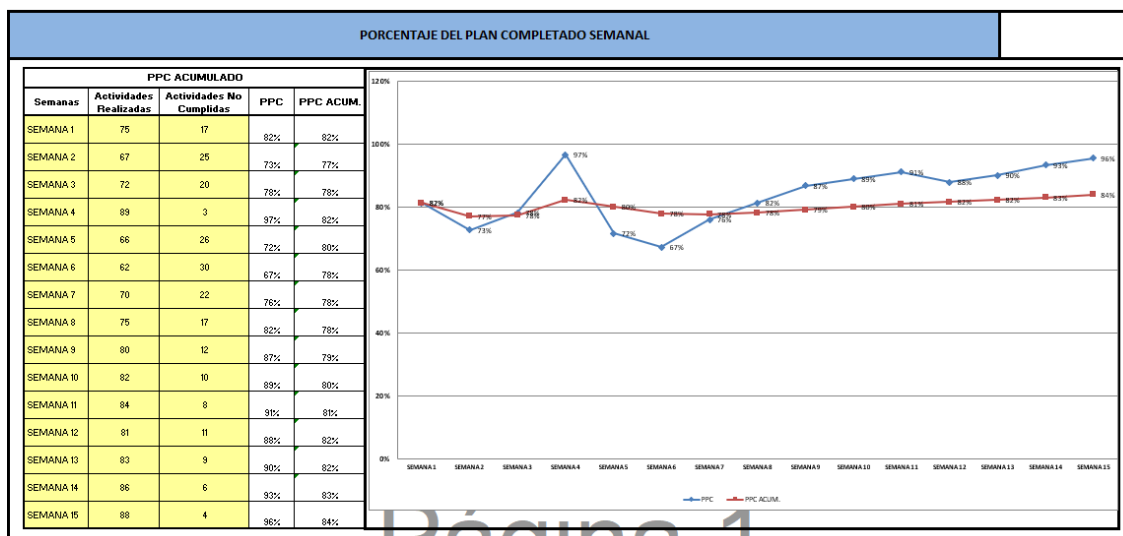


Tabla 46 Análisis del porcentaje del plan completado, Fuente Propia

En la tabla 34 se puede evidenciar como el cambio de concreto reflejo mejoras en la producción eliminando defectos y aumento el porcentaje de actividades cumplidas, la muestra se tomó a partir del 3 nivel, como plan experimental.

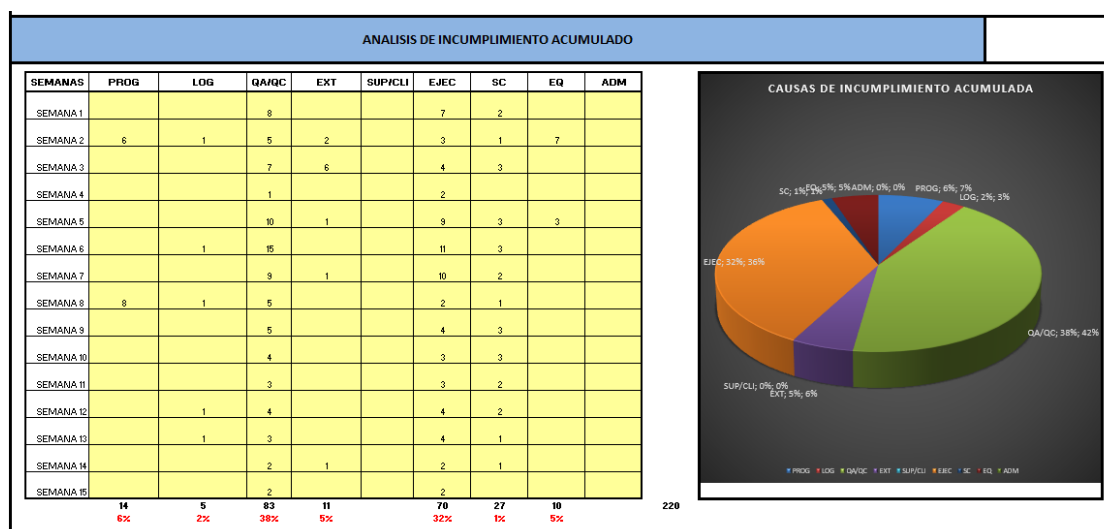


Tabla 47 Consolidado de Incumplimiento, Fuente Propia

En la tabla 35, se interpreta que la mayoría de causas de incumplimiento son por temas de calidad y ejecución esta tendencia podemos definirla ya que si la ejecución falla se presentarían problemas de calidad, aunque parezca redundante,

#### **4.2. Resultado y análisis para definir el nivel de variabilidad por aspectos externos.**

Para identificar los aspectos externos debemos de elaborar una lista de aspectos ambientales se tiene que considerar entre ellos para la situación actual se identificaron aspectos en los siguientes grupos:

De proveedor:

- Por congestión en plantas de despacho del concreto.  
Por congestión en la planta o en el trayecto a obra solo el 11% de los camiones tuvieron este inconveniente como esta evidenciado en la tabla 13. Lo que nos da un porcentaje de confiabilidad del 89% para llegada de los camiones a obra.
- Por falta de equipo de bombeo, por programación en segundo turno.  
Como todos los vaciados de verticales por proceso constructivo se recurrían al segundo turno, de los 45 vaciados programados para verticales el inicio e instalación se demoraron en 15 oportunidades lo que nos da solo un 66% de confiabilidad de poder programar en el segundo turno

De Obra:

- Fiscalizaciones municipales.  
De las fiscalizaciones municipales los niveles de porcentaje de ocurrencia son 0% ya que las visitas a obra son programadas, también se analizó al injerencia de terceros (vecinos), pero el carácter investigatorio de la municipalidad a no ser caso flagrante a la seguridad y/o este comprometida vida en riesgo, la obra tiene total control sobre esta variable
- Daños a terceros.  
En la obra que está siendo analizada no presento ocurrencias que comprometan el normal desenvolvimiento de los trabajos, por lo que el índice de ocurrencia es 0%
- Factores climáticos.  
Los factores climáticos en la ciudad de lima son bastante predecibles el único factor que se debía de cuidar era el exceso de calor en los meses de enero febrero y marzo, aspecto que se controló con el vaciado en el segundo turno cuando el calor ambiental es menor, tampoco se tuvo registro de inconvenientes por esta variable.
- Manifestaciones sindicales.  
No se registraron eventos condicionantes de los trabajos por este aspecto.

NIVEL DE VARAIBILIDAD POR FACTORES EXTERNOS				
VARIABLE		CANTIDAD DE VACIADOS PROGRAMADOS	EVENTOS X TOTAL DE VACIADO PROGRAMADOS	NIVEL DE OCURRENCIA
DE PROVEDOR	TRANSITO LENTO	45	5	11%
	DEMORA POR LLEGADA A OBRA DE BOMBA	45	15	33%
DE OBRA	FISCALIZACIONES	45	2	4%
	DAÑO A TERCEROS	45	0	0%
	FACTORES CLIMATICOS	45	2	4%
	MANIFESTACIONES SINDICALES	45	0	0%

Tabla 48 Variables externas a considerar. (Fuente Propia)

### 4.3. Resultado y análisis para definir estándares de aceptación que deben cumplir los elementos verticales empleando concreto autocompactante.

#### 4.3.1. Trabajabilidad.

La trabajabilidad en los concretos autocompactantes viene a ser las características de consolidación y colocación además de evaluar el nivel de segregación dado que se usa un agregado de tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " se medirá tomando en cuenta los siguientes ensayos, estos estándares se deberán ajustar a la norma

##### 4.3.1.1. Capacidad de paso en (seg).

La capacidad de paso del concreto autocompactante es una característica importante ya que por esta propiedad el concreto autocompactante se abre paso por las armaduras, de ahí una de sus principales características para su uso que es la capacidad de utilizarse en elementos verticales con alto confinamiento de acero de refuerzo, también se evalúa su capacidad autonivelante, los valores que deben de tener estos concretos son que el concreto debe recorrer una longitud de 60 cm. Y colmar una altura de 15 cm. Se toma el tiempo que demora en quedar completamente nivelada, el rango de tiempo para estos análisis estará comprendido entre 1.5 y 2.5 seg. aunque para este propósito se sugiere verificar estos valores en el laboratorio del proveedor.

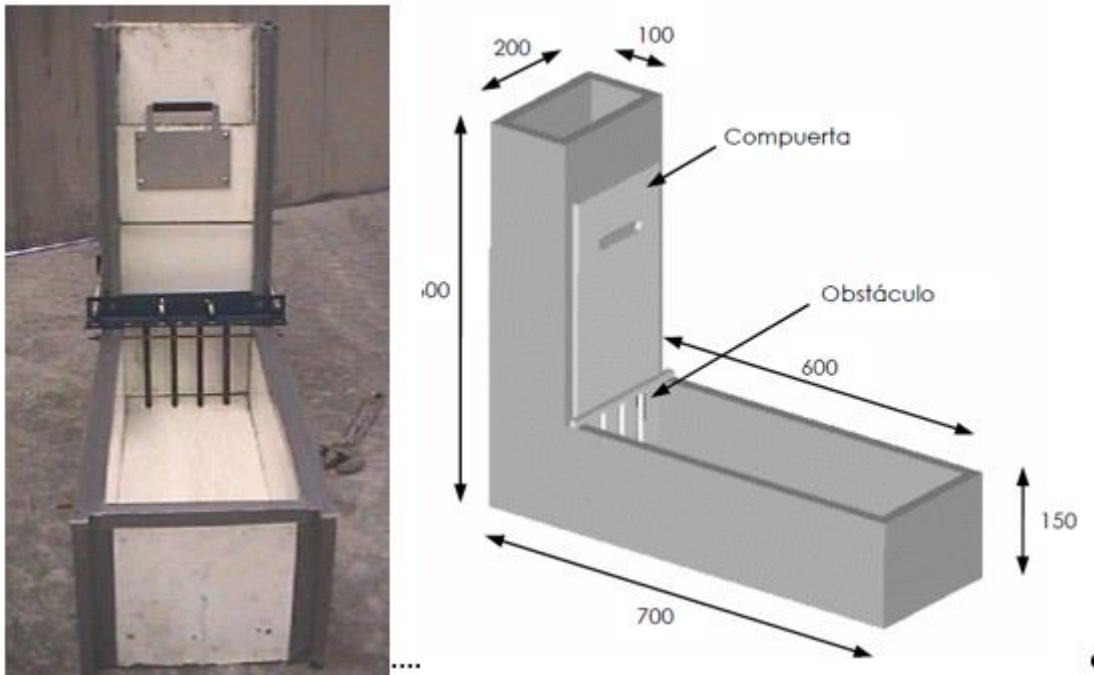


Figura 10 Caja en L (Gomes et al., 2002)

#### 4.3.1.2. Relleno (mm).

Para determinar los parámetros de esta característica basados el ensayo a una caja en forma de u que es un recipiente dividido en dos zonas separadas por una compuerta, el procedimiento consiste en llenar uno de los lados de la caja en un abrir la compuerta central dejando que fluya el concreto pasando por un obstáculo de varillas que simulan las varillas de la armadura de refuerzo de los elementos estructurales, se mide la altura que alcanza.

El resultado principal que obtenemos en este ensayo es la altura de relleno (H), que se utiliza para evaluar la habilidad del hormigón ensayado para pasar por aperturas estrechas, relleno el encofrado. Concretamente, con una mayor altura de relleno tendremos una mayor habilidad de paso (Okamura, 1997).



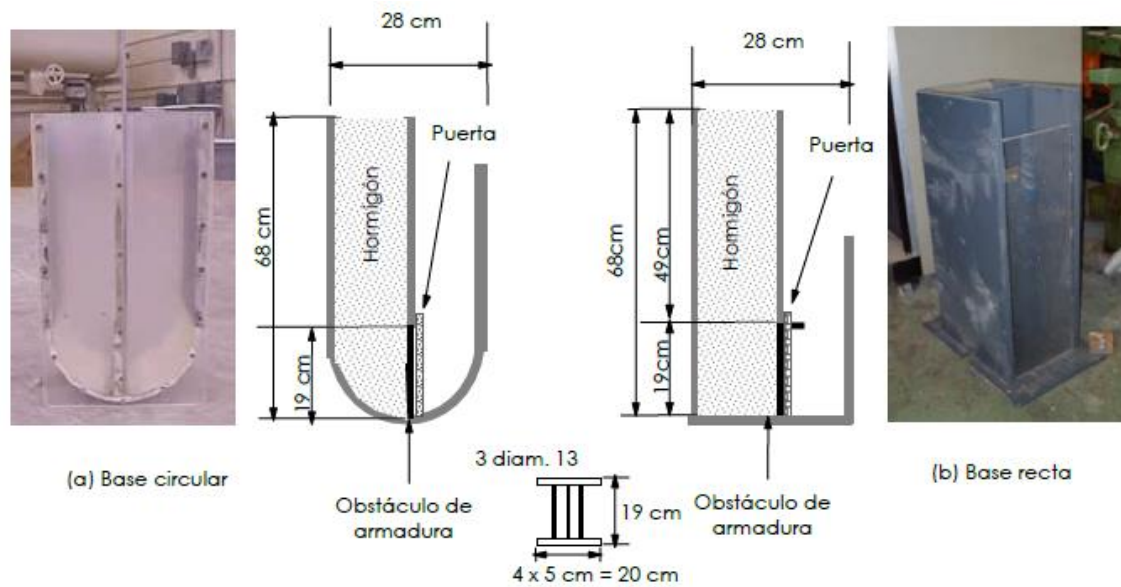


Figura 11 Caja en U (JSCE, 1998)

#### 4.3.1.3. Resistencia a la segregación (adimensional)

Las dimensiones de la sección del canal de salida dependen del tamaño máximo del árido, recomendándose una dimensión mínima superior a 3 veces el tamaño máximo del árido. Esto conduce, en el caso de hormigones autocompactables (cuyo tamaño máximo de árido no supera en general los 20 mm) a dimensiones mínimas del orden de 6,5 a 7,5 cm, siendo la sección de  $6,5 \times 7,5$  cm la más utilizada.



Figura 12 Ensayo de caja U, LADICIM UC, 2019

#### 4.3.2. Durabilidad.

Haciendo un análisis del concreto premezclado que producen las concretas actualmente, el concreto que se vierte en los elementos en obra, presentan una serie de factores que pueden alterar o generar variación en la calidad del concreto debida a las prácticas constructivas que no están acorde con los estándares para la colocación de dicho material, que alteran negativamente el comportamiento del concreto premezclado.

Se define como concreto de alto desempeño, ofreciendo una elevada trabajabilidad, dando como resultado un incremento de productividad en el proceso de colocación del concreto en elementos verticales, cuando se mejora la productividad vemos que los valores que están ligados a mejoras en la calidad tienden a eliminar trabajos o actividades que repercuten en los costos no previstos de una obra punto fundamental para tomar en cuenta la durabilidad del elemento vertical vaciado, los trabajos son realizados con un menor porcentaje de riesgo incluso con alta densidad de refuerzo de acero, eliminando completamente actividades ligadas a la compactación del concreto haciendo que se dependa menos de la mano de obra en la mezcla, reduciendo considerablemente la contaminación sonora, incluso para los propios trabajadores de obra, etc. Por otro lado, a consecuencia que el concreto autocompactante, es una mezcla diferente a la tradicional la tendencia a variaciones en su comportamiento en estado fresco tal como endurecido es mayor que la de los concretos tradicionales, se tiene que tener un entendimiento general del comportamiento de esta mezcla para asegurar el mejor rendimiento de este material innovador ya que presenta mejores comportamientos a futuro.

En todo proyecto se deben de tomar en cuenta como los agente químicos externos, se encuentran en el ambiente donde ejecutaremos nuestro proyecto, para prevenir el deterioro interno de los materiales.

Recomendaciones para mejorar la durabilidad del concreto propuestas en obra:

Dosificación adecuada, se supervisaba con el proveedor del material.

Concreto de calidad.

Puesta en obra.

Curado.

Resistencia compatibilizada con los fines estructurales del elemento.

Dar la correcta funcionalidad a los elementos estructurales de acuerdo a las cargas de servicio para las cuales fueron diseñadas.

Tiempos de colocación deben de ser óptimos.

Considerar un alto grado de compactación.

Muestreo permanente del material a colocar para garantizar las características técnicas requeridas acorde con el proyecto.

#### Fallas en la durabilidad

Para las causas de las fallas en la durabilidad del concreto; podemos recurrir a un estudio similar realizado en España del estudio se identificó los principales problemas que enfrenta la durabilidad:

- 39% ocasionada por la construcción
- 16% por los materiales
- 45% por el diseño.

Situaciones que pueden llegar a alterar la durabilidad del concreto, estas situaciones pueden ser de diferentes tipos y pueden ser identificados en dos grupos:

Los agentes externos que podemos encontrar en el medio ambiente o se deben a condiciones de servicio, identificamos por ejemplo los iones de cloruro, el dióxido de carbono, sulfatos, bacterias, abrasión y ciclos de congelamiento y deshielo.

Los agentes internos de igual manera dentro de los propios materiales en la preparación pueden encontrarse, como los iones de cloruro incorporados en determinados aditivos y los álcalis del cemento que reaccionan con agregados potencialmente reactivos.

A su vez, se pueden clasificar por su origen en agentes físicos, químicos, biológicos y mecánicos. En ocasiones, estos agentes se presentan simultáneamente. La importancia de los agentes agresivos está en función del entorno en que se encuentran, la velocidad de penetración y el medio de transporte. Dichos agentes agresivos pueden ser gases, líquidos o partículas que forman parte de los suelos adyacentes al concreto.

Como se ha mencionado, al mejorar la durabilidad del concreto se presenta una solución de largo plazo y un avance importante en el uso de recursos y en la productividad de la industria del concreto. Por ejemplo, la productibilidad de recursos de la industria del concreto incrementaría en un factor de hasta diez puntos si la mayoría de los elementos estructurales durarán 500 años en lugar de 50. La relativa baja durabilidad del concreto se explica -entre otros factores- porque las mezclas de cemento portland tienden a producir fisuras y de esta manera las estructuras se vuelven permeables. Por otra parte, el refuerzo de concreto se llega a corroer causando el deterioro de la estructura. De acuerdo a ciertos investigadores, si al realizar la mezcla con agua los materiales de cemento son reducidos con la ayuda de un aditivo súper-plastificante es posible eliminar en gran medida el encogimiento y las grietas del concreto y producir un concreto más durable. De hecho, se ha construido una gran estructura monolítica libre de fisuras designada para durar 1000 años en una isla del Océano Pacífico (Kauai), la cual después de dos años de fabricada no ha producido ninguna grieta o fisura. De acuerdo a esto, hasta el momento el empleo de cenizas volátiles resulta ser una alternativa viable para el desarrollo del concreto. Después de esta breve revisión se hace patente la importancia que tiene el concepto de durabilidad para todas las etapas de un proyecto. Dentro de este marco es necesario tener un enfoque más integral y a largo plazo al erigir estructuras del concreto considerando sus implicaciones y ramificaciones económicas y sus efectos en el medio ambiente.

Dado los objetivos de la tesis y tomando en cuenta que al cambiar de tipo de concreto y modificar los procedimientos me parecía redundante mencionar a la durabilidad, ya que al disminuir la cantidad de defectos en el concreto fresco queda tácito que mejora la durabilidad del material. La trabajabilidad en los concretos autocompactantes viene a ser las características de consolidación y colocación además de evaluar el nivel de segregación dado que se usa un agregado de tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " se medirá tomando en cuenta los siguientes ensayos.

## 4.3.3. Cohesividad

## 4.3.3.1. Concreto fresco

## 4.3.3.2. Resistencia

## 4.3.3.3. Concreto endurecido

## 4.3.4. Por normativa

## 4.3.4.1. Tiempo de vaciado

<b>TIPO DE CONCRETO</b>	<b>CONCRETO</b>	<b>UNIDAD</b>
	<b>AUTOCOMPACTADO</b>	
<b>Resistencias de especificación</b>	Desde 245 a 210	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>Edades de verificación de resistencia F'c</b>	28	Días
<b>Tamaño máximo de agregado</b>	Disponible en TMN 3/4" y 1/2"	Pulgadas
<b>Tiempo de manejabilidad desde la llegada a la obra</b>	2.5	Horas
<b>Asentamiento de diseño</b>	Extensibilidad desde 55 a 75	Pulgadas
<b>Tiempos de fraguado inicial desde la salida de la planta</b>	De 7 a 9	Horas
<b>Peso Unitario</b>	De 2,300 a 2,400	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Contenido de Aire</b>	De 1 a 3	%

*Figura 13 Especificaciones técnicas para concreto auto compactado unicon 2020*

Según recomendaciones del ACI 304r (Colocación y transporte de concreto)

## 4.3.4.2. Homogeneidad

Según recomendaciones del ACI 318-19 (Requisitos de concreto estructural)

## 4.3.5. Deformación.

## 4.3.5.1. Verticalidad

## 4.3.5.2. Geometría

## 4.3.5.3. Giro.

#### 4.3.6. Maduración.

##### 4.3.6.1. Tiempo de fraguado.

#### 4.4. Resultado y análisis para definir la capacidad del proceso para la colocación de concreto autocompactante en elementos verticales.

El siguiente paso es recopilar los datos anteriores como son los puntos críticos, puntos de control y estándares de aceptación recopilados para poder evaluar en el campo todos los elementos verticales de concreto armado, se logró identificar los siguientes puntos y/o requerimientos del cliente para la aceptación de los productos.

Para ello utilizaremos una de las herramientas del Six sigma, que es encontrar el valor de sigma por medio de la herramienta DPMO (defectos por millón de oportunidades), esta herramienta define lo siguiente:

$$DPMO = \frac{\# \text{ de Defectos de lote} * 1'000,000}{\#CCC * muestra}$$

Donde:

DPMO = defectos por millón de oportunidades

CCC = características críticas de calidad (número de oportunidades)

Muestra= el total del lote

METODO COLOCACION DE CONCRETO PREMEZCLADO NORMAL							
Nº DE PISO	SECTOR	CARACTERISTICAS CRITICAS DE CALIDAD					
		TIEMPO DE VACIADO	CANGREJERAS	DEFECTOS EN ENCOFRADO POR MAL USO DE LA VIBRADORA	SEGREGACION	LIMPIEZA	DEFECTOS SUPERFICIALES
1P	SECTOR 1	8	12	4	8	9	12
	SECTOR 2	6	11	12	6	2	6
	SECTOR 3	3	16	7	5	4	11
2P	SECTOR 1	3	9	8	4	5	5
	SECTOR 2	5	14	7	2	4	16
	SECTOR 3	5	7	7	6	6	14
3P	SECTOR 1	4	18	7	6	2	3
	SECTOR 2	3	2	3	3	3	11
	SECTOR 3	7	14	2	7	7	16
4P	SECTOR 1	2	5	8	5	2	7
	SECTOR 2	4	11	9	4	4	6
	SECTOR 3	7	10	6	5	3	7
TOTAL DE DEFECTOS DE MUESTRA		57	129	80	61	51	114
	DEFECTOS	492					
	MUESTRA	1080					
	OPORTUNIDADES CCC	6		X1	66800 Y1		93.32%
	DPMO	75925.9259		X2	80800 Y2		91.92%
	ZIGMA CONCRETO NORMAL	2.97	DESEMPEÑO DEL PROCESO		62%		0

Tabla 49. Cálculo de desempeño del proceso con concreto tradicional. (Fuente Propia)

METODO CONCRETO AUTOCOMPACTANTE						
Nº DE PISO	SECTOR	CARACTERISTICAS CRITICAS DE CALIDAD				
		TIEMPO DE VACIADO	CANGREJERAS	DEFECTOS EN ENCOFRADO POR MAL USO DE LA VIBRADORA	SEGREGACION	DEFECTOS SUPERFICIALES
5P	SECTOR 1	3	0	0	0	6
	SECTOR 2	0	0	0	0	6
	SECTOR 3	1	0	0	0	1
6P	SECTOR 1	0	0	0	0	2
	SECTOR 2	0	0	0	0	6
	SECTOR 3	4	0	0	0	2
7P	SECTOR 1	6	0	0	0	1
	SECTOR 2	3	0	0	0	0
	SECTOR 3	2	0	0	0	1
8P	SECTOR 1	0	0	0	0	5
	SECTOR 2	1	0	0	0	1
	SECTOR 3	3	0	0	0	1
		23	0	0	0	32
	DEFECTOS	93				
	MUESTRA	1080				
	OPORTUNIDADES	3				
	DPMO	28703.7037		X1	28700 Y1	97.13%
	ZIGMA	3.3999		X2	35900 Y2	96.41%
			DESEMPEÑO DEL PROCESO		92%	

Tabla 50. Cálculo de desempeño del proceso Concreto autocompactado. (Fuente Propia)

Abridged Process Sigma Conversion Table						
Long-Term Yield	Process Sigma	Defects Per 1,000,000	Defects Per 100,000	Defects Per 10,000	Defects Per 1,000	Defects Per 100
99.99966%	6.0	3.4	0.34	0.034	0.0034	0.00034
99.9992%	5.9	5	0.5	0.05	0.005	0.0005
99.9988%	5.8	8	0.8	0.08	0.008	0.0008
99.9984%	5.7	10	1	0.1	0.01	0.001
99.9980%	5.6	20	2	0.2	0.02	0.002
99.9976%	5.5	30	3	0.3	0.03	0.003
99.9972%	5.4	40	4	0.4	0.04	0.004
99.9968%	5.3	70	7	0.7	0.07	0.007
99.9964%	5.2	100	10	1.0	0.1	0.01
99.9960%	5.1	150	15	1.5	0.15	0.015
99.9956%	5.0	230	23	2.3	0.23	0.023
99.9952%	4.9	330	33	3.3	0.33	0.033
99.9948%	4.8	480	48	4.8	0.48	0.048
99.9944%	4.7	680	68	6.8	0.68	0.068
99.9940%	4.6	960	96	9.6	0.96	0.096
99.9936%	4.5	1,350	135	13.5	1.35	0.135
99.9932%	4.4	1,800	180	18.0	1.80	0.180
99.9928%	4.3	2,550	255	25.5	2.55	0.255
99.9924%	4.2	3,400	340	34.0	3.40	0.340
99.9920%	4.1	4,600	460	46.0	4.60	0.460
99.9916%	4.0	6,210	621	62.1	6.21	0.621
99.9912%	3.9	8,190	819	81.9	8.19	0.819
99.9908%	3.8	10,700	1,070	107	10.7	1.07
99.9904%	3.7	13,900	1,390	139	13.9	1.39
99.9900%	3.6	17,800	1,780	178	17.8	1.78
99.9896%	3.5	22,700	2,270	227	22.7	2.27
99.9892%	3.4	28,700	2,870	287	28.7	2.87
99.9888%	3.3	35,900	3,590	359	35.9	3.59
99.9884%	3.2	44,600	4,460	446	44.6	4.46
99.9880%	3.1	54,900	5,490	549	54.9	5.49
99.9876%	3.0	66,300	6,630	663	66.3	6.63
99.9872%	2.9	80,800	8,080	808	80.8	8.08
99.9868%	2.8	96,800	9,680	968	96.8	9.68
99.9864%	2.7	115,000	11,500	1,150	115	11.5
99.9860%	2.6	135,000	13,500	1,350	135	13.5
99.9856%	2.5	158,000	15,800	1,580	158	15.8
99.9852%	2.4	184,000	18,400	1,840	184	18.4
99.9848%	2.3	212,000	21,200	2,120	212	21.2
99.9844%	2.2	242,000	24,200	2,420	242	24.2
99.9840%	2.1	274,000	27,400	2,740	274	27.4
99.9836%	2.0	308,000	30,800	3,080	308	30.8
99.9832%	1.9	344,000	34,400	3,440	344	34.4
99.9828%	1.8	382,000	38,200	3,820	382	38.2
99.9824%	1.7	420,000	42,000	4,200	420	42
99.9820%	1.6	460,000	46,000	4,600	460	46
99.9816%	1.5	500,000	50,000	5,000	500	50
99.9812%	1.4	540,000	54,000	5,400	540	54
99.9808%	1.3	570,000	57,000	5,700	570	57
99.9804%	1.2	610,000	61,000	6,100	610	61
99.9800%	1.1	650,000	65,000	6,500	650	65
99.9796%	1.0	690,000	69,000	6,900	690	69
99.9792%	0.9	720,000	72,000	7,200	720	72
99.9788%	0.8	750,000	75,000	7,500	750	75
99.9784%	0.7	780,000	78,000	7,800	780	78
99.9780%	0.6	810,000	81,000	8,100	810	81
99.9776%	0.5	840,000	84,000	8,400	840	84
99.9772%	0.4	860,000	86,000	8,600	860	86
99.9768%	0.3	880,000	88,000	8,800	880	88
99.9764%	0.2	900,000	90,000	9,000	900	90
99.9760%	0.1	920,000	92,000	9,200	920	92

Tabla 51. Tabla de valores de Six sigma. (Fuente Six Sigma)

Y se puede verificar que el desempeño del proceso con el concreto autocompactante es más favorable ya que otorga una sigma mayor.

Nivel $\sigma$	DPM	% Defectos	Rendimiento(%)	
0	933,193	93 %	6.7%	0-3 Necesita Mejorar
1	690,000	69 %	31%	
2	308,537	31 %	69%	
2.5	158,655	15.86 %	84.14 %	
3	66,807	7 %	93%	3 - 4.5 Calidad Convencional
4	6,210	0.6 %	99.4%	
4.5	1350	0.14%	99.86%	
5	233	0.02%	99.97%	4.5 - 6 Buen Proceso
5.5	32	0.003 %	99.997%	
6	3.40	0.0 %	100.0%	6 Proceso óptimo

Tabla 52. Niveles de Six Sigma. (Fuente L.F.Jeri / UNALM)

## CAPÍTULO V: PROPUESTA DE SOLUCIÓN

### 5.1. Propósito

Mejorar la capacidad de procesos en la colocación de concreto, en elementos verticales usando concretos autocompactantes, reduciendo la variabilidad, por defectos o disconformidades, provenientes de las prácticas actuales.

### 5.2. Actividades

Etapas de implementación:

#### 5.2.1. Identificación

##### 5.2.1.1. Identificar el indicador de control

El identificador de colocación de concreto en cada elemento será la cantidad de elementos que cumplan los 3 requisitos del cliente.

Tiempo. - se tomará en cuenta el tiempo de colocación del concreto autocompactante por cada unidad de elemento vertical.

Costo. - se analizará el costo unitario con el concreto autocompactante, así como también los costos de los trabajos que ya no agregan valor.



Acabado. - la cantidad de disconformidades superficiales que puede tener un elemento, así como sus características geométricas que deben estar bien definidas luego del desencofrado.

#### 5.2.1.2. Identificar su unidad de medida.

Para dar como recepcionado un entregable, que para este ejemplo un entregable es igual a una unidad de elemento vertical.

Si no cumple con por lo menos 2 de estas condiciones no se dará como recepcionada, así como también su desecho total ya que al faltar dos de las características fundamentales se compromete la integridad estructural del elemento al no cumplir con resistencias homogéneas de su consistencia, costo no justificado de fabricación.

Cantidad de elementos aceptables sin defectos aparentes

#### 5.2.1.3. Identificar la métrica

La métrica a utilizarse será la del DPMO, del Six sigma, para controlar el desempeño de la capacidad del proceso.

Diagrama de flujo, Cuantificación de defectos y control de productividad

#### 5.2.1.4. Determinar la meta

La meta para este proceso será la entrega del 90% de los elementos que cumplan con los 3 estándares propuestos.

### 5.2.2. Implementación.

#### 5.2.2.1. Establecer el método de recolección de datos.

Recabar información confiable basados en procedimientos estadísticos.

Utilización de la observación como técnica para recoger datos.

Los resultados se analizarán para establecer suposiciones o proyecciones de patrones de comportamiento o tendencias.

#### 5.2.2.2. Identificar las herramientas estadísticas para el análisis.

Diagrama causa efecto

Histogramas.

Gráfico de control.

Diagrama de flujo.

Diagrama de Pareto.

Diagrama de dispersión.

#### 5.2.2.3.Recolectar la data.

Formatos de seguimiento de características.

Formatos de capacitaciones.

Matriz de análisis de datos.

Diagrama de afinidade.

Matriz de análisis de datos.

### **5.2.3.Análisis.**

#### 5.2.3.1.Analizar la data obtenida

#### 5.2.3.2.Validar el indicador de control puesto en marcha.

#### 5.2.3.3.Interpretar los resultados e informarlos.

#### 5.2.3.4.Plantear acciones correctivas.

### **5.3.Cronograma de ejecución.**

Cronograma de ejecucion					
Actividades	Mes de ejecucion				
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Analisis y definicion de los procesos actuales para encontrar puntos criticos					
Medicion de actividades para analisis de variabilidad					
Implementacion de Concretos Autocompactantes y seguimiento de los nuevos procesos					
Analisis de los resultados obtenidos					
Acciones correctivas y resultados finales					

#### 5.4. Análisis costo beneficio

El análisis costo beneficio se basa en obtener los valores tanto visibles como son las metas tangibles del proceso mejorado, como también incrementar el valor al proceso ayudándonos del cambio de material y de un orden, disciplina para tomar medidas correctivas a tiempo.

COMPARACION DEL RENDIMIENTO DE UN CONCRETO TRADICIONAL Y UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE EN M3/Hh								
METRADO	30 M3 X DIA		COLOCACION DE CONCRETO EN ELEMENTOS VERTICALES					
	ACTIVIDAD				RENDIMIENTO			
TIPO DE CONCRETO	MOVIMIENTO DE MAGUERA	TRABAJOS VARIOS	VIBRADO	ACABADO	TOTAL	TIEMPO DE ACTIVIDAD (H)	M3/H	M3/Hh
TRADICIONAL	2	1	1	1	5	5	6	1.2
AUTOCOMPACTANTE	1	1		1	3	3	10	3.33333333

Uno de los factores importantes del cambio de material son sus propiedades. (Ver tabla24)

RELACION DE COSTOS DE LOS TRABAJOS ADICIONALES POR DEFECTOS DE VACIADO			
calculo de costo oportunidad	metrado	p.u	sub total
trabajos de resane	1256.3	32.5	S/ 40,829.75
desperdicios del concreto	67	215	S/ 14,405.00
costo por retrasos de obra	15	15000	S/ 225,000.00
equipo de proteccion personal	18	210	S/ 3,780.00
TOTAL			S/ 284,014.75
concreto autocompactante diferencia del precio			S/ 173,600.00
TOTAL A FAVOR			S/ 110,414.75

Tabla 53 Resultado del analisis del costo (fuente propia)

Al cambiar de material no solo se está analizando el valor monetario del material también se está ponderando las variables como la mano de obra (ver tabla 23), la disminución de actividades que no agregan valor el nivel de estrés laboral por el confinamiento, se mejora la relación con los vecinos, al disminuir la contaminación ambiental.

AUTOCOMPACTANTE	plus	delta
	mejor trabajabilidad	menor tiempo de espera
	mejor capacidad de paso a través del refuerzo	pueden presentarse derrames por falta de hermeticidad de los encofrados
	requiere una cuadrilla menor	procesos de control y de ensayos no son muy confiables ya que solo se pueden verificar en la observación y los datos pueden variar o ser confusos en algunos casos
	no requiere vibrado	
	mejor acabado superficial	
	disminución de defectos por segregación	los costos actuales son un problema, pero solo si se ve como costo y no se analizan todas las otras variables a considerar
	se puede utilizar sistema de vaciado inverso así ya no se utilizarían los andamios agregando seguridad a la obra, reduciendo los costos de EPP's y provisión de andamios.	
	ambiente de trabajo más ordenado por menor cantidad de equipo y material	
CONCRETO NORMAL	plus	delta
	el costo es su mejor carta de presentación	mayor cuadrilla
	su disponibilidad	trabajos más seguros
		mucho desperdicio
	fácil muestreo de características mecánicas	la trabajabilidad depende del slump y el tiempo que se pueda disponer para el vaciado
		requiere más equipo

Tabla 54 Comparación de beneficios

### Reducción de tiempos de colocación de concreto

Esta actividad empezó a ser controlada con la aceptación de la etapa de instalación que es la etapa previa y donde se realiza todas las actividades previas al vaciado de concreto propiamente dicho, para la colocación del concreto, se procedió a bombear la mezcla, la toma de tiempo en este caso se inicia desde que la bandeja de la bomba se encuentra llena y la tubería ya realizó la lubricación respectiva, el concreto es vertido por la parte superior sin colocar la boca de la manguera en posición vertical a la entrada si no en posición horizontal el tiempo de llenado del primer elemento columna fue constante teniendo como resultado valores temporales que redujeron un tercio del tiempo anterior, es decir para bombear el concreto autocompactante y llenar el volumen de la sección en muestra, define la reducción significativa en los tiempos de colocación, Con el sistema actual para el mismo elemento el tiempo fue de 19 minutos por tener la condicionante de vaciar por

etapas realizar el correcto vibrado, utilizar el martillo de goma además del confinamiento de personal en áreas reducidas como lo son los andamios.

#### Optimización de la cuadrilla de trabajo

Analizando los procesos actuales se detallamos que se identificaron las siguientes actividades propiamente dichas las cuales no agregan valor al proceso actual como son el vibrado, el golpeo del encofrado con el martillo de goma, trabajos utilización de amoladoras con discos de desbaste para rectificar imperfecciones, ya no se realizaron resanes por cangrejas o segregación, para lo cual se debía de disponer de personal adicional para realizar esos trabajos, con el procedimiento propuesto, no solo se optimiza el proceso y mejora la variabilidad en la entrega de elementos verticales sino que también intrínsecamente, se entregan elementos geométricamente mejor definidos reducciones la variabilidad en etapas posteriores como son alineamientos para trazo de tabiquería y revestimientos.

Cuando analizamos los procesos con procedimientos tradicionales y obtenemos valores de desempeño bajos, se puede interpretar como que el procedimiento no es capaz y uno de esos indicadores es la velocidad de colocación; que tiene principalmente sus puntos críticos en la cantidad y complejidad de la inter relación de sus actividades con la cantidad de mano de obra requerida, otro punto crítico se obtiene de las propiedades de relleno o la capacidad de poder atravesar el acero de refuerzo, por lo que el concreto auto compactante, es perfecto para elementos con alto confinamiento de acero o elementos con espesores reducidos hasta 3" de espesor.,

#### Texturas más homogéneas

Luego que el concreto entra en su fase de endurecimiento, y se realiza el desencofrado se puede apreciar que no hay defectos en la superficie de los elementos estructurales y las aristas están bien formadas y consistentes, dando un acabado cara vista.

#### Disposición más homogénea.

Dado el proceso de vaciado de manera uniforme y continua además de un vaciado constante se puede reducir la formación de costras o diferentes tiempos de fraguado por vaciar un elemento con concretos que tiene slump diferentes, la capacidad de paso de los concretos auto compactante y la capacidad de relleno llegan a cubrir todos los espacios del encofrado por consiguiente se evita tener elementos estructurales que visiblemente pueden presentar dos tipo de tonalidades de concreto que evidencia dos concretos diferentes en un mismo elemento, defecto que se trata de evitar para no perder homogeneidad del material en el elemento.

#### Costos más atractivos

Si bien es cierto el concreto auto compactante hace varios años ya viene revolucionando la industria de la construcción es necesario precisar que el material como tal requiere de toda una filosofía de producción y de gestión para sacar el máximo potencial sus beneficios, ya que solo por su uso se logra reducir la mano de obra, reduce los costos de uso de equipo, incrementa los índices de seguridad, mejora los indicadores de reducción de contaminación ambiental, este material innovador sumado a la capacidad de predicción de la filosofía Six sigma, hacen que los costos por el cambio de material pasan a segundo plano.

#### Mejora de la Seguridad en obra minimizando los riesgos de accidentes

Cuando hablamos de mejorar la capacidad del proceso intrínsecamente también hablamos de brindar seguridad ya que un mejor proceso conlleva también a mejores condiciones espaciales, en este caso al reducir la cuadrilla menos personas permanecen sobre los andamios reduciendo considerablemente el confinamiento del personal en espacios reducidos, menor esfuerzo del trabajador, al reducirse los equipos que se requieren como la vibradora o la manipulación de la manguera de concreto evitando y disminuyendo las lesiones lumbares, y otros derivados de la naturaleza del trabajo.

#### Reducción de la contaminación sonora y ambiental.

El uso constante o por periodos prolongado de equipos que bordeen o sobrepasen los decibeles permitidos por ley, representa un grave daño no solo al personal que labora ya que este personal pese a contar con los implementos de seguridad, al estar próximos a o manipulando los equipos pueden presentar daños en su sistema auditivo, así como

también a la propiedad a terceros (vecinos) que puede ser muy molestos estos ruidos) pero con la mejora de la capacidad del proceso, al requerir menos equipos como amoladoras vibradoras, disminuirá la contaminación sonora otro valor agregado es al disminuir la cantidad de resanes y rectificaciones disminuye la cantidad de desperdicios regados al ambiente.

.

## CONCLUSIONES

- Si bien es cierto el nuevo material de por sí no mejoraría la capacidad de proceso, si se concluye que implementando el uso de los concretos autocompactantes sumados al conocimiento de la metodología DMAIC, se identificó aquellas actividades críticas que no agregan valor, como las deficiencias del vibrado del concreto, como, así como optimizar actividades contributivos se disminuye los tiempos de vaciado ya que se eliminan actividades que no agregan valor y una redistribución de mano de obra, lo cual incrementa el porcentaje de trabajo productivo. La baja capacidad de proceso en obra nos da como resultado, sobrecostos, baja calidad, mayores plazos y alcances afectados, si bien es cierta esta se genera principalmente por una deficiente planificación y control en los diferentes procesos de ejecución, una manera de poder realizar una mejora a nuestros procesos es también introducir nuevos materiales que puedan hacer que los procesos sean más eficientes , según la tipología de este proyecto, se podría concluir que la mayoría obras son ejecutados con una metodología tradicional sin procesos de mejora, utilizando solamente procesos de control tomando como pilar la experiencia del que tenga a cargo estos proyectos, que en ocasiones no cuenta con las competencias para poder implementar un sistema de mejora de procesos ni conocimiento de materiales innovadores que puedan mejorar sus resultados.
- Se han identificado el valor agregado que el cliente puede percibir, no nos olvidemos que muchas de estas partidas pensamos que estamos agregando valor solo tomando en cuenta con el cumplimiento de la meta diaria, pero se debe de tomar en cuenta las condiciones de calidad en las cuales se le entrega al cliente, por eso en esta investigación aun cuando los elementos verticales son tarrajeados, con lo cual se podría suponer que se ocultan los defectos por ende muchos de los defectos de calidad pueden pasar desapercibidos, pero no es así tratándose de elementos estructurales ya que una de las variables más importantes de elementos estructurales de concreto armado es la durabilidad, ya que cualquier defecto que no tomemos en cuenta podría ocasionar serios problemas que en algunos casos pueden ser irreversibles, y coloquialmente “no ocultemos la basura debajo de la alfombra”
- Los resultados obtenidos al optimizar los procesos hacen que se incremente el valor del producto para el cliente, esto se logra empatizando y sumergiéndolo en nuestro interés



en los entregables y hacer que nuestro producto iguale y/o en el mejor de los casos supere las expectativas que mantienen estos tienen sobre el producto, la variabilidad no solo se encontró en los aspectos puntuales como es la utilización de los concretos autocompactantes si no en su modo de utilización y esto agrega un valor adicional ya que también abarca a los concretos tradicionales, al mejorar los procesos de colocación del concreto, Al tener estructuras con menor cantidad de observaciones de acabado, se logró disminuir la contaminación ambiental, ya que la emisión de material en suspensión al ambiente, al disminuir el material de desmante producto del repicado o rectificaciones en la superficie de los elementos verticales ya sea directa o indirectamente, a su vez como se dejan de utilizar equipos como las vibradoras o amoladoras reducimos la contaminación sonora, costos en re trabajos y disconformidades, se llegó a la conclusión que este sistema ahorra costos a comparación del actual, hay un ahorro en los gastos de obra, así como también en el cuidado del medio ambiente lo que da y mejora la imagen de la empresa en cómo lo ven los actores externos,

- Los conceptos de estandarización podemos concluir que existen imperfecciones aceptables que no conllevan a una afectación significativa dentro del resultado operativo de la actividad en estudio, esto significa que dichos parámetros deben de ser comunicados en todas las líneas del sistema productivo, de ello se concluye que la propiedad de fluidez del concreto y presentar una considerable reducción de la segregación por vibrado se ha logrado tener un mejor acabado superficial en los muros de concreto, además fijar protocolos de entrega basados en la situación real “a pie de obra”, en lugar de tomar como referencia la planificación teórica. Para ello implementar un sistema Pull es la opción más eficiente porque es la actividad ultima en la cadena o flujo de valor la que marca el ritmo y es la que jala la demanda de las actividades predecesoras y no de manera inversa como es recurrente en los sistemas tradicionales, en la que se asigna el trabajo tan pronto se haya liberado el proceso anterior, generando cuellos de botella, exceso de inventario y esperas, entre otros desperdicios. Ya que la propiedad de fluidez, compactación del concreto autocompactante, nos da una mejor trabajabilidad da un valor agregado en comparación con los concretos convencionales. Se garantiza mejor calidad del concreto por las propiedades del concreto fluido, ya que las estructuras internamente presentan mejor homogeneidad en la distribución de sus partículas componentes del

concreto (cemento, agregado grueso y piedra chancada, sin olvidar que se consigue mejor adherencia en elementos con mucha cuantía de acero

- Six Sigma ( $6\sigma$ ) es una estrategia de mejora continua que busca mejorar el desempeño de los procesos y reducir su variación, encontrando y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos. Asimismo, tiene tres áreas prioritarias de acción que son el cliente satisfecho, disminuir el tiempo por ciclo y disminución de elementos defectuosos. Actualmente muchas de las organizaciones cuentan con este sistema como estrategia para aumentar su rentabilidad y mejorar la calidad de sus productos y servicios. Tratando el tema de la seguridad en obra, al reducirse actividades como el vibrado y la necesidad de vaciar por tramos los elementos verticales se reduce considerablemente la aglomeración de personas en la actividad de vaciado de concreto, lo que disminuye el riesgo de accidentes de trabajo, la contaminación sonora también se reduce por la no utilización de las vibradoras, y demás equipos para subsanar inconformidades, Al entregar elementos verticales más homogéneos, se eliminan las disconformidades o trabajos rehechos, lo que habiendo considerado dentro de la filosofía Six sigma (DMAIC), disminuyendo la variabilidad, con la eliminación de todo trabajo que conlleve a impedir que el proceso productivo sea mejor.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar una sectorización que se adecue a las necesidades de cada edificio, así como tener claro un mapa de riesgos para que el sistema funcione, además de estandarizar modulaciones en encofrados, esto dinamiza y optimiza los resultados a obtenerse.
- Se recomienda realizar el vaciado en horas no muy calurosas, tratar de que se realice al inicio o al finalizar el día, porque la trabajabilidad del concreto disminuye con temperaturas altas.
- Se recomienda elaborar un layout de obra que pueda garantizar los ciclos de abastecimiento de concreto, así como la utilización de equipos de bombeo que cumplan con los protocolos de mantenimiento, ya que por tratarse de concretos especiales se debe de garantizar su fluidez y controlar los tiempos de vaciado es de suma importancia.
- Las capacitaciones y el aseguramiento de la no variabilidad de las cuadrillas ayudan a elevar la curva de experiencia, lo que mejora el proceso de llevando y aumenta las probabilidades de mejora y por consiguiente mejores resultados económicos.
- Este sistema se utilizó en la construcción de un edificio multifamiliar de 15 pisos, cuya estructuración básicamente es de sistema mixto con tabiquería de ladrillo de arcilla, los procedimientos y metodología seguida se analizaron para tomando en cuenta las características de construcción para este edificio en particular, se recomienda que previa a su utilización para otros casos se tome en cuenta un buen análisis de riesgo, así como de una buena planificación previa.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alizadeh, V. (2019). New approach for proportioning of controlled low strength materials. *Construction and Building Materials*, 201, 871-878. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.041>
- American Concrete Institute. (2006). Specifications for Tolerances for Concrete Construction and Materials and Commentary (ACI 117-06). Recuperado de [https://www.academia.edu/38491511/ACI\\_117-06\\_Specifications\\_for\\_Tolerances\\_for\\_Concrete\\_Construction\\_and\\_Materials\\_and\\_Commentary\\_MyCivil](https://www.academia.edu/38491511/ACI_117-06_Specifications_for_Tolerances_for_Concrete_Construction_and_Materials_and_Commentary_MyCivil)
- American Concrete Institute. (2000). Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete (ACI 304R-00). Recuperado de [http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20304R-00%20Guide%20for%20Measuring,%20Mixing,%20Transporting,%20and%20Placing%20Concrete\\_MyCivil.ir.pdf](http://dl.mycivil.ir/dozanani/ACI/ACI%20304R-00%20Guide%20for%20Measuring,%20Mixing,%20Transporting,%20and%20Placing%20Concrete_MyCivil.ir.pdf)
- Andrade, R. (30 de enero, 2018). La industria de la construcción [opinión]. Recuperado de <https://www.economista.com.mx/opinion/La-industria-de-la-construccion-20180130-0110.html>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación*. 6ta ed. Caracas, Venezuela C. A. Editorial Episteme.
- Benites, J. C. (2014). *Características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregados de la cantera río Jequetepeque y el aditivo chemaplast* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Cabrero, J., & Richart, M. (2018). *Metodología de la Investigación I*. Alicante. México.
- Cámara Colombiana de la Construcción – CAMACOL (2018). La Construcción alrededor del mundo. Recuperado de <https://asogravas.org/wp-content/uploads/2017/11/Informe-econ%C3%B3mico-No-84.pdf>
- Cámara de Comercio de Lima (21 de octubre, 2019). Sector construcción crecería 4.1 % en 2019 y 6.5 % en 2020, según la CCL [Noticia]. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/construccion-sector-construccion-creceria-41-en-2019-y-65-en-2020-segun-la-ccl-noticia/?ref=gesr>
- Cervantes, G. (2005). Ventajas, propiedades y aplicaciones. Relleno fluido, un suelo líquido. *Construcción y tecnología*, 208, 16-25. Recuperado de <http://imcyc.com/cyt/septiembre05/ARTPORTADA.pdf>
- De los Ríos, A., y Tolmos, F. (2016). *Optimización en el sistema constructivo para elementos verticales en edificaciones empleando el sistema de vaciado por inyección desde la parte inferior con concreto autocompactante* (Tesis de pregrado). Universidad de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Delgado, O., López, I., y Toledo, F. (2018). *Diseño de mezclas de materiales de resistencia baja controlada (Lodocreto), utilizando bancos de préstamos de la Zona Central de El Salvador para su aplicabilidad vial* (Tesis Doctoral). Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

- Federación Iberoamericana del Hormigón Premezclado. (2019). *Hormigón. El concreto en la práctica. ¿Qué, Por qué y cómo?. CIP 37 – Concreto Autocompactante* (CAC) Spring St., Silver Spring, MD: National Ready Mixed Concrete Association. Recuperado de <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP37es.pdf>
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. México D.F., México: McGraw-HILL / Interamericana Editores.
- Inmoley (26 de agosto, 2019). Evolución del sector de la construcción 2019 – 2023 en España e Iberoamérica [Noticia]. Recuperado de <https://www.inmoley.com/NOTICIAS/1912345/2019-1-inmobiliario-urbanismo-vivienda/08-19-inmobiliario-26-20.html>
- Kramat, H., He, Z., Ahmad, N., Iqbal, M., y Taskheer, S. M. (2019). Green, lean, Six Sigma barriers at a glance: A case from the construction sector of Pakistan. *Building and Environment*, 161, 1-16. doi: 106225. doi:10.1016/j.buildenv.2019.106225
- Mneina, A., Soliman, A. M., Ahmed, A., & El Naggar, M. H. (2018). Engineering properties of controlled low-strength materials containing treated oil sand waste. *Construction and Building Materials*, 159(2018), 277-285. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.093>
- Norma Técnica Peruana 400.037:2014 Agregados. *Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*. Recuperado de [https://www.academia.edu/36612201/Kupdf.com\\_ntp\\_4000372014\\_agregados\\_especificaciones\\_para\\_agregados\\_en\\_concretopdf](https://www.academia.edu/36612201/Kupdf.com_ntp_4000372014_agregados_especificaciones_para_agregados_en_concretopdf)
- Palella, M., & Martins, F. (2012). *Metodología de la investigación cuantitativa* Caracas, Venezuela: FEDUPEL, Ed.
- Pallisa, E. (2017). *Construcción III: Estructura – Elementos verticales*. Barcelona, España: Peritos Judiciales Barcelona. Recuperado de <https://perito.biz/construccion-iii-estructura-elementos-verticales/>
- Rabanal Gonzales, D. C. y Su Chaquí, R. (2017). *Diseño de un concreto Autocompactable* (Tesis de pregrado). Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú.
- Rivera P., E. (2008). *Uso de rellenos fluidos en la construcción* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.
- Rodríguez, D. (2019). *Comportamiento del concreto fluido modificado con caucho reciclado de neumático de bicicleta*. Universidad Piloto de Colombia, Giradot, Colombia.
- Ruíz, J. C., y Rodríguez, A. F. (2018). *Influencia del Aditivo Plastificante en las Propiedades del Concreto en Edificaciones Unifamiliares en Huancayo* (Tesis de pregrado) Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú.
- Salazar, B. (2020). *Capacidad de procesos*. Ingeniería Industrial Online.com website: <https://ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-calidad/capacidad-de-procesos/>
- Salgado Ale, O. A., y Peralta Baluarte, R. O. (2016). *Análisis técnico-económico del concreto fluido como reemplazo del relleno estructural compactado—en la construcción de la planta concentradora del proyecto minero Las Bambas* (Tesis

- de pregrado). Universidad Privada de Tacna, Tacna, Perú.
- Sánchez, J., González, M., Prieto, M., y López, G. (2019). Estudio reológico experimental de un hormigón autocompactante reforzado con fibras de acero. *Anales de Edificación*, 5(2). 80-86. doi: 10.20868/ade.2019.4049
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigación científica*. 4ta ed. México D.F., México: Editorial Limusa.
- Viera E., A., Benavides, E. y Montoya, R. (2008). *Manual de Elaboración, Colocación y Control de Calidad del Suelo Cemento Fluido Recuperado de* <https://docplayer.es/13069872-Capitulo-5-manual-de-elaboracion-colocacion-y-control-de-calidad-del-suelo-cemento-fluido.html>
- Vilca, J. (2018). *Planteamiento Del Mejoramiento Del Suelo Empleando Relleno Fluido Para La Construcción De Los Edificios Multifamiliares En La Obra Casa Club Recrea "Los Nogales", Distrito De El Agustino, Lima* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, Perú.
- Wang, L., Zou, F., Fang, X., Tsang, D. C., Poon, C. S., Leng, Z., & Baek, K. (2018). A novel type of controlled low strength material derived from alum sludge and green materials. *Construction and Building Materials*, 165, 792-800. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.078>
- Wilkinson, S., Chang-Richards, A. Y., Sapeciay, Z., & Costello, S. B. (2016). Improving construction sector resilience. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*.
- Yepes, V., & Pellicer, E. (2004). Aplicación de la metodología Seis Sigma en la mejora de resultados de los proyectos de construcción. *Universidad Politécnica de Valencia, Valencia*. Recuperado de <https://go.aws/32dKkPD>